

Genehmigte Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

eines

Dr.phil.

**Modellversuche und Unterrichtskonzepte für  
einen neuen Zugang zum Thema Farbstoffe im  
Chemieunterricht der Sekundarstufe II**

vorgelegt von

**Stefan Zajonc**

aus

Bad Honnef

Dezember 2016

---

---

Erstgutachter: Prof. Dr. Matthias Ducci  
Pädagogische Hochschule Karlsruhe, Institut für Chemie

Zweitgutachter: Prof. Dr. Marco Oetken  
Pädagogische Hochschule Freiburg, Abteilung Chemie

Fach: Didaktik der Chemie

Abgabetermin: 20.12.2016

---





# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>   | <b>8</b>  |
| <b>2</b> | <b>Neue Unterrichtskonzepte für den Chemieunterricht</b>  | <b>12</b> |
| 2.1      | Warum neue Unterrichtskonzepte? . . . . .   | 12        |
| 2.1.1    | Die Situation . . . . .   | 12        |
| 2.1.2    | Der Chemieunterricht . . . . .  | 14        |
| 2.1.3    | Neue Unterrichtskonzepte als mögliche Lösung . . . . .  | 16        |
| 2.2      | Die Struktur der Unterrichtskonzepte . . . . .  | 17        |
| 2.2.1    | Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren . . . . .   | 17        |
| 2.2.2    | Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren in den Unterrichtskonzepten dieser Arbeit . . . . . | 22        |
| <b>3</b> | <b>Fachwissenschaftliche Grundlagen zur Farbe und Farbigkeit von Stoffen</b>                        | <b>24</b> |
| 3.1      | Farbige Stoffe oder Farbstoffe? - Eine kurze Begriffsklärung . . . . .                              | 24        |
| 3.2      | Farbigkeit . . . . .  | 25        |
| 3.2.1    | Farbe - physikalisch . . . . .  | 25        |
| 3.2.2    | Farbe - biologisch . . . . .  | 26        |
| 3.2.3    | Farbe - chemisch . . . . .  | 29        |
| 3.3      | Azofarbstoffe . . . . .   | 37        |

---

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.3.1    | Aufbau . . . . .  | 37        |
| 3.3.2    | Historisches . . . . .                                    | 37        |
| 3.3.3    | Herstellung . . . . .                                     | 39        |
| 3.3.4    | Gesundheitsrisiken . . . . .                              | 40        |
| <b>4</b> | <b>Magic Colours</b>                                      | <b>45</b> |
| 4.1      | Motivation . . . . .                                      | 45        |
| 4.2      | Vorbereitungen . . . . .                                  | 46        |
| 4.2.1    | Lernvoraussetzungen der Schüler . . . . .                 | 46        |
| 4.3      | Didaktische Umsetzung . . . . .                           | 47        |
| 4.3.1    | Einstieg . . . . .  | 47        |
| 4.3.2    | Der ‚Magic Pen‘ . . . . .                                 | 49        |
| 4.3.3    | Die Zaubermaler . . . . .                                 | 56        |
| 4.3.4    | Herstellung von Zaubermalern . . . . .                    | 59        |
| 4.4      | Ergänzungsmöglichkeiten / weitere Experimente . . . . .   | 66        |
| 4.4.1    | Identifizierung einiger Farbstoffe . . . . .              | 66        |
| 4.4.2    | Herstellung eines ‚Magic Pen‘ . . . . .                   | 75        |
| 4.5      | Fächerübergreifende Möglichkeiten . . . . .               | 76        |
| 4.5.1    | Physik . . . . .  | 76        |
| 4.5.2    | Kunst . . . . .   | 77        |
| <b>5</b> | <b>Die ‚bärchenstarke‘ Reduktion</b>                      | <b>78</b> |
| 5.1      | Motivation . . . . .                                      | 78        |
| 5.2      | Vorbereitungen . . . . .                                  | 78        |
| 5.2.1    | Lernvoraussetzungen der Schüler . . . . .                 | 78        |
| 5.2.2    | Herstellung von Brillantschwarz BN (BS)-Bärchen . . . . . | 79        |
| 5.3      | Didaktische Umsetzung . . . . .                           | 81        |
| 5.3.1    | Einstieg . . . . .  | 81        |
| 5.3.2    | Das BS-Bärchen . . . . .                                  | 83        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 5.3.3    | Klärung der beobachteten Farbwechselreaktionen . . . . .    | 85         |
| 5.4      | Erweiterungsmöglichkeiten . . . . .                         | 97         |
| 5.4.1    | Anwendungsgebiete des Farbstoffes Brillantschwarz . . . . . | 97         |
| 5.4.2    | Mechanistische Betrachtungen . . . . .                      | 99         |
| <b>6</b> | <b>Azofarbstoffe in Textilien</b>                           | <b>106</b> |
| 6.1      | Motivation . . . . .  | 106        |
| 6.2      | Vorbereitungen . . . . .                                    | 106        |
| 6.2.1    | Lernvoraussetzungen der Schüler . . . . .                   | 106        |
| 6.2.2    | Färbung der Wollfäden . . . . .                             | 107        |
| 6.3      | Didaktische Umsetzung . . . . .                             | 110        |
| 6.3.1    | Einstieg . . . . .  | 110        |
| 6.3.2    | Erarbeitung der ablaufenden Reaktion . . . . .              | 113        |
| 6.3.3    | Die Hautgängigkeit der Azofarbstoffe . . . . .              | 120        |
| 6.4      | Ergänzungsmöglichkeiten . . . . .                           | 124        |
| 6.4.1    | Exaktere Nachweise einzelner Schlussfolgerungen . . . . .   | 124        |
| 6.4.2    | Anwendung des Gelernten . . . . .                           | 128        |
| 6.5      | Fächerübergreifende Möglichkeiten . . . . .                 | 131        |
| <b>7</b> | <b>„Was fluoresziert denn da?“</b>                          | <b>132</b> |
| 7.1      | Motivation . . . . .  | 132        |
| 7.2      | Vorbereitungen . . . . .                                    | 132        |
| 7.2.1    | Lernvoraussetzungen der Schüler . . . . .                   | 132        |
| 7.2.2    | Materialien . . . . .                                       | 133        |
| 7.3      | Didaktische Umsetzung . . . . .                             | 133        |
| 7.3.1    | Einstieg . . . . .  | 133        |
| 7.3.2    | Der Blutdetektor . . . . .                                  | 135        |
| 7.3.3    | Aufklärung der blauen Fluoreszenz . . . . .                 | 140        |
| 7.4      | Ergänzungsmöglichkeiten . . . . .                           | 154        |

---

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 7.4.1    | Theorie der Fluoreszenz . . . . .   | 154        |
| <b>8</b> | <b>Umsetzung und Evaluation im Schülerprojekt ‚Make Science!‘</b>             | <b>159</b> |
| 8.1      | Das Projekt ‚Make Science!‘ . . . . .   | 159        |
| 8.2      | Statistische Auswertung der Fragebögen und Reflexion der Ergebnisse . . . . . | 161        |
| 8.2.1    | Allgemeines . . . . .   | 161        |
| 8.2.2    | Ergebnisse des Pretests . . . . .   | 163        |
| 8.2.3    | Ergebnisse des Posttests . . . . .  | 167        |
| 8.2.4    | Vergleich Pretest und Posttest . . . . .                                      | 170        |
| 8.2.5    | Beantwortung der Forschungsfrage und Diskussion . . . . .                     | 172        |
| 8.3      | Erfahrungsbericht des Kursleiters . . . . .                                   | 173        |
| <b>9</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>   | <b>175</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>   | <b>180</b> |
|          | <b>Abbildungsverzeichnis</b>  | <b>187</b> |
|          | <b>Liste der Experimente</b>  | <b>193</b> |
|          | <b>Anhang</b>   | <b>195</b> |
| <b>A</b> | <b>Abkürzungsverzeichnis</b>  | <b>196</b> |
| <b>B</b> | <b>Fragebögen der Evaluation im Projekt ‚Make Science!‘</b>                   | <b>197</b> |
| <b>C</b> | <b>Statistische Auswertung aller Fragen zum Prätest</b>                       | <b>211</b> |
| <b>D</b> | <b>Statistische Auswertung aller Fragen zum Posttest</b>                      | <b>224</b> |

# 1. Einleitung

Die Chemie der Farbstoffe stellt ein attraktives Thema für den Chemieunterricht der Sekundarstufe II dar. Durch ihren hohen Alltagsbezug und ihre Ästhetik weckt sie beispielsweise leicht das Interesse der Schülerinnen und Schüler<sup>1</sup>. Darüber hinaus ist ihre Thematisierung im Chemieunterricht leicht umsetzbar. Die Verwendung der Chemikalien in Alltagsprodukten macht sie verfügbar und - durch ihr zumeist nur geringes Gefährdungspotenzial - in der Schule bedenkenlos einsetzbar. Allerdings sind Farbstoffmoleküle oftmals komplizierte und große organische Moleküle, deren Behandlung ohne ein fundiertes Bild von Aromatizität und vertiefter organischer Chemie auf den ersten Blick nicht plausibel erscheint. Aus diesem Grund ist das Thema ‚Farbstoffe‘ im Chemieunterricht vieler Bundesländer als kurze Unterrichtseinheit von 4-6 Stunden[1], als freiwillige Lehrplaneinheit[2] oder gar nicht[3] vorgesehen. Tatsächlich jedoch basiert die Chemie der Farbstoffe oft auf Basisthemen (z. B. Redoxprozesse), die wiederum Bestandteil der Schulbildung im Fach Chemie sind. Eine Reduktion und Fokussierung des Themengebiets auf diese Inhalte bietet daher einen vielversprechenden Ansatz für effizienten, motivierenden und alltagsbezogenen Chemieunterricht. Dies setzt aber eine fachdidaktische Vorbereitung und Untersuchung voraus. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der experimentellen Erschließung neuer Zugänge zum Themengebiet ‚Farbstoffe‘ für einen problemorientierten Unterricht.

Ziel der Arbeit ist es, Unterrichtskonzeptionen so zu strukturieren, dass sie es den Schülern nach

---

<sup>1</sup>Zur verbesserten Lesbarkeit der Arbeit wird für Berufs- und Positionsbezeichnungen (Schüler, Lehrer, etc.) im Folgenden nur die männliche Form stellvertretend für beide Geschlechter genannt. Textstellen, die sich explizit auf nur eine Geschlechtergruppe der jeweiligen Position oder des jeweiligen Berufs beziehen, sind entsprechend gekennzeichnet.

der Methode des forschend-entwickelnden Unterrichts (vgl. Kap. 2.2.1) ermöglichen, die Inhalte selbstständig zu erarbeiten. Dabei soll es vorrangig um solche Inhalte gehen, die typischer Bestandteil der Schulbildung sind:

- Redoxreaktionen
- Säure-Base-Reaktionen
- Indikatoren
- ...

Der Entwurf entsprechender Unterrichtskonzepte bildet den Schwerpunkt dieser Arbeit. Zu diesem Zweck gliederte sich das Forschungsvorhaben in folgende Schritte:

1. Allgemeiner Aufbau der Unterrichtskonzepte
2. Erarbeitung der chemischen Grundlagen
3. Ausführliche Beschreibung der Unterrichtskonzepte
4. Explorative Evaluation

Die vorliegende Arbeit gibt die Ergebnisse dieses Vorgehens wieder.

Eine genauere Beschreibung der Unterrichtskonzepte wird in Kap. 2 vorgenommen. Hierbei wird auch diskutiert, inwiefern erhöhte Schülerzentrierung, sachlogische Struktur und die zentrale Funktion von Experimenten innerhalb der Unterrichtskonzepte zu einem verbesserten Chemieunterricht führen können.

Anschließend folgt eine kurze Einführung in die Materie ‚Farbstoffe‘ (Kap. 3). Die behandelten theoretischen Inhalte sind als solche nicht Bestandteil der Unterrichtskonzepte, bilden aber eine wichtige Grundlage ihrer fachdidaktischen Entwicklung. Sie müssen den Schülern für eine erfolgreiche Durchführung der Unterrichtskonzepte nicht bekannt sein. Einzelne inhaltliche Aspekte können jedoch zum Verständnis und zur Motivation der Schüler beitragen. Daher empfiehlt es sich, sie im Vorfeld der jeweiligen Einheit kurz im Unterricht zu wiederholen beziehungsweise

zu besprechen. Um welche Aspekte es sich dabei im Konkreten handelt, wird zu Beginn des jeweiligen Unterrichtskonzepts beschrieben.

Das erste Unterrichtskonzept (Kap. 4) befasst sich mit Farbwechselreaktionen. Die Basis bilden sogenannte magische Stifte, deren Farben sich beim Übermalen mit einem Magic Pen verändern. Die Erforschung, Analyse und Aufklärung dieses Effekts sowie der Bestandteile dieser Stifte und des Magic Pen sollen für die Schüler motivierende Aufgaben darstellen. Den Abschluss der Einheit wird die eigene Herstellung derartiger Zaubermaler bilden.

Das Themengebiet der Azofarbstoffe ist für die chemische Industrie sowohl historisch als auch aktuell von großer Bedeutung. Als viel verwendete synthetische Farbstoffe finden sie zahlreiche Anwendungen in Umwelt und Alltag. Ihre Verwendung und Synthese ist daher auch in den meisten Lehrplänen vorgesehen.[1][4][5]

Die reduktive Spaltung von Azofarbstoffen hingegen ist in den Curricula selten zu finden. Dabei ist ihre Bedeutung für Alltag, Umwelt und vor allem Gesundheit immens (vgl. Kap. 3.3). Ziel der beiden Unterrichtskonzepte ‚Die bärchenstarke Reduktion‘ (Kap. 5) und ‚Azofarbstoffe in Textilien‘ (Kap. 6) ist es daher, den Schülern einen forschend-entwickelnden Zugang zur reduktiven Spaltung von Azofarbstoffen zu ermöglichen.

Das Unterrichtskonzept mit dem Titel ‚Die bärchenstarke Reduktion‘ soll dabei einen starken Fokus auf das Erforschen naturwissenschaftlicher Inhalte durch Schüler mit Hilfe sachlogischer und wissenschaftlich korrekter Schlussfolgerungen legen. Ausgehend von verblüffenden Beobachtungen bei einem einfachen Farbenexperiment mit einem Gummibärchen werden die Schüler immer wieder neue Problemstellungen gewinnen, deren kontinuierliche Lösung sie letzten Endes zu einer Erklärung für die beobachteten Phänomene führt.

Die Einheit ‚Azofarbstoffe in Textilien‘ wird dahingegen größeren Wert auf die toxikologischen Wirkungen vieler Azofarbstoffe legen. Die Schüler sollen sich ein wissenschaftlich fundiertes Bild des Gefährdungspotentials von Azofarbstoffen erarbeiten, um somit deren Verwendung nicht nur in Textilien besser bewerten zu können. Im Zentrum ihrer Forschungsarbeit werden hierbei speziell entwickelte Modellversuche stehen, die die gesundheitsgefährdenden Prozesse, wie beispielsweise die Hautgängigkeit einzelner Moleküle, einfach und deutlich darstellen.



Fluoreszierende Farbeffekte üben eine große Faszination aus. Dieser Umstand findet in vielen Bereichen des Alltags Anwendung (z. B. Discotheken, Leuchtarmbänder, etc.). Dadurch ist es naheliegend, diese Effekte auch in den Chemieunterricht zu integrieren. Bisherige Arbeiten behandelten die Fluoreszenzeffekte jedoch als gesonderte, isolierte Experimente (z. B. [6]). Das Unterrichtskonzept ‚Was fluoresziert denn da?‘ bindet das Phänomen der Fluoreszenz in ein strukturiertes, problemorientiertes Unterrichtskonzept ein. Ein Großteil der Motivation entsteht bereits durch die Ästhetik der Experimente, bei denen faszinierende Leuchterscheinungen auftreten. Einige davon sollen den Schülern neue wissenschaftliche Problemstellungen eröffnen, die es im Rahmen des Unterrichtskonzeptes zu lösen gilt.

In Kap. 8 folgt eine Bewertung der ersten Erfahrungen, die bei der Durchführung der Unterrichtskonzepte im Rahmen des Schülerprojekts ‚Make Science!‘ gemacht wurden. Neben einer statistischen Auswertung der Fragebögen, die in den Projektkursen von den Schülern anonym ausgefüllt wurden, sollen die Erfahrungen des Kursleiters in Form eines Berichts für weitere Forschungsarbeiten zur Verfügung gestellt werden. Zum Abschluss der Arbeit erfolgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse (Kap. 9).

## 2. Neue Unterrichtskonzepte für den Chemieunterricht

Dieses Kapitel setzt die Problemstellung der Arbeit in ihren allgemeinen Kontext. Dazu wird erläutert, dass die Einbindung aktueller Inhalte aus Forschung und Alltag eine motivierende, handlungsorientierte und schülerzentrierte Gestaltung des Chemieunterrichts ermöglichen. Ferner wird das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren beschrieben, nach dessen Prinzip weite Teile der Unterrichtskonzepte dieser Arbeit aufgebaut sind.

### 2.1. Warum neue Unterrichtskonzepte?

#### 2.1.1. Die Situation

Chemische Inhalte gelten als Fach- und nicht als Allgemeinwissen. Im populärwissenschaftlichen Bestseller *Bildung. Alles was man wissen muss.* von Dietrich Schwanitz [7] wird es so beschrieben:

„Naturwissenschaftliche Kenntnisse müssen zwar nicht versteckt werden, aber zur Bildung gehören sie nicht.“([7], S. 618)

Auch die Betrachtung des Titels eines ‚Antwortbuches‘ auf Dietrich Schwanitz’ Bestseller, *Die andere Bildung - Was man von den Naturwissenschaften wissen sollte* von Ernst Peter Fischer[8], macht deutlich, dass Inhalte der naturwissenschaftlichen Fächer generell nicht als

Allgemeinbildung gelten. Selbst größere Wissenslücken in dieser ‚anderen‘ Bildung werden gesellschaftlich toleriert und schaden dem Ansehen wenig. Dies wiederum könnte einer der Hauptgründe für eben jene Bildungslücken sein, ist doch die Grundlage jeden Lernens die Motivation, und sei es die zur Steigerung des eigenen Prestiges.[9]

Das Image der Chemie - insbesondere der Chemieindustrie - ist im Allgemeinen in Deutschland negativ behaftet.[10][11] Dieses Bild setzt sich bei Jugendlichen oft fort. So erklärten 62% bei der 12. Shellstudie, dass ‚Chemie und Technik die Umwelt zerstören werden‘.[12] Die Suche nach Gründen, warum so viele Menschen eine solche Grundhaltung der Chemie gegenüber haben, ist wissenschaftlich noch wenig untersucht. Eine Erklärung könnte der Einfluss der Medien sein.[13] Im Fernsehen werden Chemiker, Pathologen oder andere Wissenschaftler oft mit sonderlichen Persönlichkeitsmerkmalen versehen und sind häufig Einzelgänger mit ‚speziellem‘ Humor. Auch die Verwendung von ‚künstlichen‘ Chemikalien in Nahrung, Kleidung oder dem Agrarbereich wirkt auf viele abschreckend. Manche Firmen nutzen diese geschürten Vorbehalte gegenüber der Chemie zu Werbezwecken (Abb. 2.1).



Abbildung 2.1.: Werbeplakat des Getränkeherstellers Bionade®

Allgemein neigen Medien dazu, in ihrer Darstellung von Chemie und Technik den Fokus stark auf den angewandten Schadstoff oder Unfälle zu richten.[13] Nur selten wird die Chemie in der Öffentlichkeit mit Nachhaltigkeit und Umweltschutz in Verbindung gebracht.[14] Eine detail-

lierte Betrachtung und Erklärung dieser Grundhaltungen sowie ihr Einfluss auf den Chemieunterricht wird im folgenden Kapitel dargestellt.

### **2.1.2. Der Chemieunterricht**

Bereits vor ihrer ersten Unterrichtsstunde im Fach Chemie haben viele Schüler ein klares Bild von Chemie. Oftmals ist dies jedoch negativ behaftet. So stellen viele Schüler der sechsten Klassen (68 %) ‚Chemie‘ mit Hilfe von Bildern der Umweltzerstörung, Krankheiten, Toxikologie und Atomkraftwerken dar.[15] Der Ursprung dieser negativen Grundhaltung gegenüber der Chemie, die sich auch in großen Teilen der Gesellschaft wiederfindet, wird oftmals in den Erinnerungen an Chemie-Unfälle (z.B. Seveso 1976 oder Sandoz 1986) gesehen.[10] Die zunehmende Darstellung der Chemie als ‚Problemlöser‘ aktueller Zukunftsprobleme sorgte in letzter Zeit für eine Verbesserung dieses Umstands. Diese Entwicklung kann durch die Einbindung neuer Experimente mit aktuellen Gebrauchs- und Alltagsgegenständen in den Chemieunterricht verstärkt werden.

Die PISA-Studie 2006 legte den Schwerpunkt auf die Betrachtung naturwissenschaftlicher Kompetenzen 15-jähriger Schüler. Die Ergebnisse der Leistungen in Deutschland zeigten sich dabei gegenüber den Vorjahren verbessert und über dem Durchschnitt der OECD-Länder.[16]. Ca. 90 % der Schüler in Deutschland geben an, dass naturwissenschaftliche Forschung einen großen Beitrag zur Verbesserung der Lebensbedingungen der Menschen leistet. Dem gegenüber ist ihnen im Vergleich zu anderen Ländern jedoch seltener (ca. 60 %) bewusst, dass Naturwissenschaften auch wirtschaftliche und soziale Erträge bringen können. Dies ist insofern problematisch, da die Studie auch zeigt, dass die Schüler im Schnitt deutlich bessere Leistungen erbringen, wenn sie sich der Bedeutung der Naturwissenschaften für Umwelt, Alltag und Wirtschaft bewusst sind. Dies ist ein weiterer Beleg für die Vorteile der Einbindung aktueller Forschungsergebnisse aus Umwelt und Alltag der Schüler in den naturwissenschaftlichen Unterricht.[17]

Entgegen eines allgemein vorhandenen Grundinteresses der Schüler an Naturwissenschaften [17] steht eine zunehmende Unbeliebtheit der naturwissenschaftlichen Schulfächer. Schon in den 70er Jahren wurde diese Entwicklung bei den Schülern festgestellt. Empirische Studien zur

Beliebtheit der Schulfächer bei 13- bis 19-jährigen aus dem Jahr 2004 sowie die SASOL-Studie 2005 zeigen die Fächer Chemie und Physik auf den letzten Plätzen der Beliebtheitsskala. Die Biologie findet sich in den mittleren Plätzen wieder.[18][19] (Abb. 2.2)

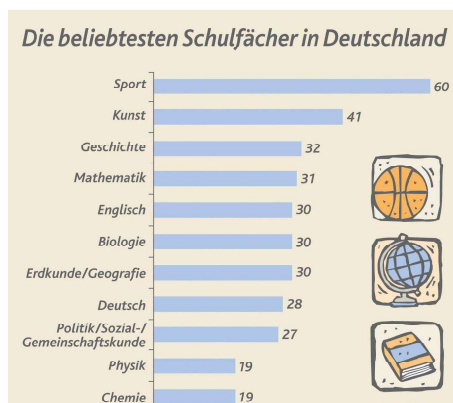


Abbildung 2.2.: Ergebnisse der SASOL-Studie zur Beliebtheit der Schulfächer

Neuere Untersuchungen konnten das Bild allgemeiner Unbeliebtheit etwas differenzieren. So zeigte sich neben einem allgemein vorherrschenden Desinteresse, dass die Faktoren Kontext, Unterrichtsaktivitäten und Geschlecht einen starken Einfluss haben.[20] Kontexte mit hohem Alltagsbezug zeigten stark Interessen fördernde Wirkung. Dies führt insbesondere bei abstrakteren, theoretischen Inhalten zu besseren Lernerfolgen.[21] Die Untersuchungen haben auch ergeben, dass das Interesse im Verlauf der Sekundarstufe I zusätzlich absinkt.[22] Das nachlassende Interesse an der Thematik führt zu fehlendem Engagement, welches wiederum dringend benötigt wird, um bei der Erklärung grundlegender Phänomene entsprechend vorherrschende Fehlvorstellungen zu hinterfragen und zu widerlegen.[21] Dies führt zu weiter nachlassendem Interesse und die Spirale setzt sich fort.

Ein Blick auf die Studierendenzahlen der letzten Jahre gibt indirekt weiteren Aufschluss über die Situation der naturwissenschaftlichen Fächer. Im Wintersemester 2012/2013 waren an baden-württembergischen Hochschulen 22.649 Studenten in den Studiengängen Physik, Chemie oder Biologie immatrikuliert. Das sind zusammen weniger als 7% aller Studenten.[23] Dabei sind gerade in Baden-Württemberg ingenieur- und naturwissenschaftliche Studiengänge das Haupt-

augenmerk einiger Hochschulen (z. B. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Universität Stuttgart etc.). Auch im Vergleich zum Vorjahr ist die Tendenz negativ. Zwar sind die Absolutzahlen der Studierenden im Vergleich zum Wintersemester 2011/2012 leicht angestiegen, relativ zur Gesamtzahl der Studierenden ist ihr Anteil im baden-württembergischen Doppeljahrgang (,G8, G9‘) jedoch leicht gefallen.[23][24] Die Chemie ist mit 7487 Studenten etwas beliebter als die Physik (6403 Studierende), aber unbeliebter als die Biologie (8759 Studierende). Ähnlich gilt für den Frauenanteil, dass sich die Chemie mit 44 % zwischen der Biologie (64 %) und der Physik (19 %) befindet. Insgesamt liegt der Frauenanteil bei den drei naturwissenschaftlichen Studiengängen bei 45 %. Der Frauenanteil aller Studenten in Baden-Württemberg liegt bei 46 %. Das bedeutet für die Chemie sowohl im naturwissenschaftlichen als auch im absoluten Vergleich einen akzeptablen Frauenanteil vorweisen zu können. Dies kann als ein Erfolg der Bemühungen, die dahingehend zuletzt im Land angestellt wurden, gewertet werden.[25]

### **2.1.3. Neue Unterrichtskonzepte als mögliche Lösung**

Die Naturwissenschaften sind in Umwelt und Alltag ein Gebiet aktiver Forschung. Forschungsergebnisse führen regelmäßig zu Veränderungen des Alltags vieler Menschen. Um dem gerecht zu werden, sollte der Unterricht naturwissenschaftlicher Fächer ebenso ständig im Wandel sein.[26] Neue Unterrichtskonzepte, die sich an der aktuellen Umwelt der Schüler orientieren, bieten an sich schon ein erhöhtes Motivationspotenzial. Darüber hinaus wirken sie einer Vielzahl der oben angesprochenen Probleme der Chemie und des Chemieunterrichts entgegen. Qualitativ betrachtet schaffen sie:

- Ein realistischeres Bild des Berufs Chemiker durch Einblicke in aktuelle Fragen der Industrie und Forschung,
- Ein erhöhtes Bewusstsein für die Präsenz der Chemie im Alltag der Schüler,
- Eine bessere Bewertungskompetenz der Schüler bezüglich des Einsatzes von Chemie in Umwelt und Alltag,

- Ein besseres Verständnis der Bedeutsamkeit und Rolle, die die Chemie in der Welt einnimmt,
- Erhöhte Beliebtheit der naturwissenschaftlichen Schulfächer bei Schülern durch spannenden, motivierenden Unterricht.

## **2.2. Die Struktur der Unterrichtskonzepte**

### **2.2.1. Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren**

Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren wird bereits seit den 1990er Jahren angewandt. Durch seine zahlreichen Vorteile eignet sich dieses Verfahren insbesondere in naturwissenschaftlichen Fächern, wie im Folgenden erläutert wird. Die Hauptmerkmale des forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahrens sind:

- Schülerorientierung,
- hohe experimentelle Anteile,
- Problemorientierung,
- sachlogisch strukturierte Inhalte.

Daraus resultiert ein hohes Maß an Selbstständigkeit bei den Schülern. Durch die problemorientierte Herangehensweise an Experimente und theoretische Inhalte wird zudem die Motivation gesteigert, da die Schüler bei ihren Beobachtungen und Schlussfolgerungen aus Experimenten der Erforschung einer zuvor gewonnenen, wissenschaftlichen Fragestellung nachgehen.

Der Lernprozess erfolgt beim forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren in mehreren ‚Denkstufen‘, die ihrerseits aus verschiedenen ‚Denkphasen‘ bestehen [27]:

1. Problemgewinnung
  - a) Problemgrund
  - b) Problemerkfassung
  - c) Problemformulierung
2. Lösungsplanung
  - a) Analyse des Problems (Hypothesengewinnung)
  - b) Lösungsvorschläge
  - c) Entscheidung für einen Lösungsvorschlag
3. (Experimentelle) Durchführung der Lösungsvorschläge
  - a) Planung des Lösevorhabens
  - b) praktische Durchführung
  - c) Diskussion der Ergebnisse
4. Abstraktion der Erkenntnisse
  - a) ikonische Abstraktion
  - b) verbale Abstraktion
  - c) symbolhafte Abstraktion
5. Wissenssicherung
  - a) Anwendungsbeispiele (Wissenstransfer)
  - b) Wiederholung
  - c) Lernzielkontrolle

Je nach Vorkenntnissen der Schüler und anderen Lernbedingungen können diese Denkstufen sehr unterschiedlich ausgeprägt ausfallen. So kann beispielsweise eine Hypothesengewinnung bei guten Vorkenntnissen der Schüler sehr schnell erfolgen. Darüber hinaus sind sich die Schüler



in diesem Fall oftmals der Wahrheit ihrer Hypothese sicher, wodurch die Planung und Durchführung der Lösungsvorschläge eher einen ‚Bestätigungscharakter‘ erhält. Insgesamt ergeben sich zwei unterschiedliche Stränge des forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahrens.

- Das ‚forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren deduktiv‘ mit Bestätigungsexperiment (große Vorkenntnisse)
- Das ‚forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren induktiv‘ mit weiterführendem Experiment (wenig Vorkenntnisse)

Die großen Vorkenntnisse bei der deduktiven Variante haben zur Folge, dass die Schüler aus dem Experiment keine neuen Erkenntnisse gewinnen können. Durch ihr Vorwissen haben die Schüler das Problem bereits theoretisch gelöst und führen in der dritten Denkstufe ein Experiment zur Bestätigung durch. Dadurch wird die Abstraktion der Erkenntnisse in die zweite Denkstufe der Lösungsüberlegungen integriert. Nach der Durchführung des Bestätigungsexperiments kann daher direkt zur Wissenssicherung übergegangen werden.

Bei der induktiven Variante hingegen ist das Ergebnis der Durchführung eines Lösungsvorschlags (Stufe drei) für die Schüler nicht vorhersagbar. Durch die geringen Vorkenntnisse der Schüler ist es ihnen nicht möglich, den Wahrheitsgehalt der gewonnenen Hypothese (Stufe zwei) einzuschätzen. Daher kann auch eine Wissensabstraktion erst nach dem Erlangen der Ergebnisse aus der dritten Stufe stattfinden.[28]

Im Folgenden sollen die einzelnen Denkstufen näher erläutert werden.

### **Erste Denkstufe - Problemgewinnung**

In den meisten Fällen bedarf bereits die Erkenntnis einer wissenschaftlichen Fragestellung ein Mindestmaß an Vorkenntnissen der Schüler. Daher legt der erste Teil dieser Denkstufe bei den Schülern die Basis für das Erkennen des Problems (‚Problemgrund‘). Dies kann in ei-

nem kurzen Lehrervortrag oder gerade im Fall von Wiederholungen im kurzen Lehrer-Schüler-Gespräch (LSG) oder Schüler-Schüler-Gespräch (SSG) stattfinden. Anschließend sind die Schüler in der Lage, das Problem selbstständig zu erkennen („Problemerkennung, Problemfindung“). Sollte dies nicht möglich sein, kann die Lehrkraft durch vermehrte Impulse das Problem den Schülern aufzeigen („Problemstellung“). Sofern Zeitplan und Rahmenbedingungen es ermöglichen, sollte diese Variante aus folgenden Gründen jedoch vermieden werden: Zum einen hemmt es die Motivation der Schüler, ein „gestelltes“ Problem zu lösen, da bereits die Erkenntnis des Problems ein motivationsförderndes Erfolgsmoment ist.[29] Zum anderen ist die Förderung der Kompetenz des Erkennens naturwissenschaftlicher Fragestellungen wichtiger Bestandteil naturwissenschaftlichen Unterrichts.[2] Zum Abschluss dieser Denkstufe sollte das Problem von den Schülern klar formuliert werden. Insbesondere im späteren Verlauf bei der Lösung des Problems zeigt sich die Wichtigkeit der exakten Formulierung und der klaren Vorstellung des Problems bei den Schülern. Daher muss ein besonderes Augenmerk darauf gelegt werden, dass die Schüler diese Phase im Lernprozess vollendet haben, ehe mit der nächsten Denkstufe fortgefahren wird.

### **Zweite Denkstufe - Lösungsüberlegungen**

Nachdem das Problem erkannt und formuliert wurde, müssen die Schüler einen Lösungsweg finden. Hierbei sollte im Idealfall der forschende Gedankenprozess auf Schülerseite streng verfolgt werden. Das heißt, dass das Problem zunächst genauer analysiert werden muss. Hierfür ist ein Sammeln an bekanntem Vorwissen unabdingbar. Das Vorwissen ist quasi das „Werkzeug“ der Schüler für diese Denkstufe. Mit Hilfe ihres Vorwissens gelingt es den Schülern, eine Hypothese zu dem analysierten Problem zu formulieren. In der Hypothesengewinnung sollte stets darauf geachtet werden, dass die Schüler jede vorgeschlagene Hypothese wissenschaftlich fundiert begründen können. Nachdem die Hypothesen gewonnen wurden, werden konkrete Lösungsvorschläge zu ihrer Überprüfung erarbeitet. Speziell im Fach Chemie sollte hierbei primär an ein Experiment gedacht werden. Zum Ende der zweiten Denkstufe sollten sich die Schüler für einen Lösungsvorschlag entscheiden. Auch hier ist wieder Wert zu legen auf eine wissenschaftlich

fundierte Begründung (Wahrscheinlichkeit der Problemlösung, Aufwand der Umsetzung etc...). Sollten die Schüler sich für einen ‚falschen‘ Lösungsvorschlag entscheiden, sollte die Lehrkraft nicht zwingend korrigierend eingreifen, sondern den Lösungsvorschlag, sofern möglich, auch durchführen. Auch negative Ergebnisse fördern naturwissenschaftliche Denkstrukturen und folgen der Methode des forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahrens.[28]

### **Dritte Denkstufe - Durchführung des Lösungsvorschlags**

Mit der Entscheidung für einen Lösungsvorschlag beginnt die Planung für dessen Umsetzung. Da es sich gerade im Chemieunterricht in den meisten Fällen um ein Experiment handeln wird, muss hier besonders sorgfältig von Schüler- und von Lehrerseite gearbeitet werden. Die Durchführung eines Experiments muss hinsichtlich der Form (Schüler- oder Lehrerversuch etc.) sowie der benötigten Geräte und Chemikalien exakt und detailliert vorbereitet sein. Die Planung und Vorbereitung sollte weitestgehend von den Schülern vorgenommen werden. Die Lehrkraft sollte Wert darauf legen, dass zum Ende der Vorbereitungsphase kein Schüler offene Fragen hinsichtlich der Begründung und Durchführung des bevorstehenden Experiments hat.

Während der eigentlichen Durchführung sollten die Beobachtungen und Ergebnisse schriftlich festgehalten werden. Ein Einsatz vorgefertigter Protokollschablonen zur Arbeitserleichterung der Schüler widerspricht der wissenschaftlichen Vorgehensweise dabei nicht und bietet darüber hinaus mehrere Vorteile. Neben der Zeitersparnis in dieser Denkstufe erleichtert es die Ergebnissicherung in den folgenden Denkstufen. Die Lehrkraft stellt auf diese Art und Weise zudem sicher, dass die Protokolle der einzelnen Schüler(gruppen) gut vergleichbar sind.

Zum Abschluss der dritten Denkstufe erfolgt die Diskussion der Ergebnisse. Wie bereits erwähnt kann das Ergebnis auch den ursprünglichen Lösungsvorschlägen aus der zweiten Denkstufe widersprechen, indem es die gewonnene Hypothese widerlegt (Falsifizierungsexperiment). In diesem Fall bietet es sich an, den Lernprozess ab der zweiten Denkstufe (unter Berücksichtigung der neuen Erkenntnisse) zu wiederholen. Gegebenenfalls lässt sich aber auch aus einer Falsifizierung ein Erkenntnis durch Ausschlussverfahren gewinnen. In diesem Fall, sowie nach

einer Bestätigung der Hypothese durch das Experiment (Verifizierungsexperiment), kann mit der Denkstufe vier fortgefahren werden.

### **Vierte Denkstufe - Abstraktion der Erkenntnisse**

Damit die Schüler auf möglichst vielen Ebenen lernen, bietet es sich an, die Phase der Wissensabstraktion in Teilphasen zu unterteilen. Hierbei sollte nach Möglichkeit der Schwierigkeitsgrad der Abstraktion zunehmend gesteigert werden. Auf diese Art und Weise bilden sich bei den Schülern nicht nur fachliche Kompetenzen aus, sondern auch die allgemeine Kompetenz der verbesserten Wissensabstraktion. Daher sollte diese Denkstufe auf der ‚ikonischen Ebene‘ beginnen, die die Versuchsergebnisse in einfachen und anschaulichen Skizzen und Schemata darstellt. Im Anschluss daran sollten die Schüler in der Lage sein, die Ergebnisse des Versuchs mit eigenen Worten wiederzugeben (‚verbale‘ Abstraktion) sowie die Ergebnisse in Gesetzmäßigkeiten oder konkreten quantitativen Reaktionsgleichungen umzusetzen (‚symbolhafte‘ Abstraktion).

### **Fünfte Denkstufe - Wissenssicherung**

Die Wissenssicherung im forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren erfolgt wie in den meisten Unterrichtsverfahren durch Transfer, Wiederholung und Kontrolle des neu erlernten Wissens.

## **2.2.2. Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren in den Unterrichtskonzepten dieser Arbeit**

Die Unterrichtskonzepte ab Kapitel 4 basieren auf dem forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren. Sie sind so konzipiert, dass sich die Schüler auch kompliziertere Inhalte nahezu selbstständig erarbeiten können. Ermöglicht wird dies durch ihre besondere Struktur. Die Schüler

erkennen bereits die Fragestellung selbstständig und entdecken im Unterrichtsverlauf, dass sie in der Lage sind, diese zu lösen. Die dafür notwendigen neuen Inhalte werden problemorientiert in den Unterricht eingebunden, wodurch die Lernmotivation der Schüler zusätzlich gesteigert wird. Am Ende der Unterrichtskonzepte haben die Schüler eine wissenschaftliche Fragestellung mit Hilfe ihrer Vorkenntnisse, den selbstständig erlernten, neuen Inhalten sowie einer wissenschaftlichen Untersuchung gelöst. Die Impulse der Lehrkraft sind auf ein Minimum reduzierbar. Gleichzeitig bieten sie der Lehrkraft ein hohes Maß an Flexibilität, um das Unterrichtskonzept den zeitlichen und sonstigen Rahmenbedingungen anzupassen.

Neben der konkreten Vermittlung chemischer Inhalte geht es vor allem um die Ausbildung wissenschaftlicher Kompetenzen der Schüler. Durch das hohe Maß an eigenständiger Arbeit der Schüler sowie durch den ständigen Wechsel von Problemstellungen und deren Lösungsfindungen festigen sich Denkstrukturen, die nicht nur für Wissenschaft und Forschung eine wichtige und gefragte Kompetenz darstellen.

# 3. Fachwissenschaftliche Grundlagen zur Farbe und Farbigkeit von Stoffen

## 3.1. Farbige Stoffe oder Farbstoffe? - Eine kurze Begriffsklärung

Die Sammelbezeichnung für farbgebende Stoffe ist nach DIN-Norm 55943 der Begriff **„Farbmittel“**. Es wird zwischen organischen und anorganischen Farbmitteln unterschieden. Diese beiden Gruppen wiederum können dann nach verschiedenen Kriterien weiter unterteilt werden. So werden Farbmittel nach Herkunft in synthetische oder natürliche Farbmittel klassifiziert. Eine weitere Möglichkeit ist die Sortierung nach Löslichkeit in:

- **Farbpigmente:** Farbmittel, die in ihrem Anwendungsmedium (z. B. Wasser) nicht oder nur schwer löslich sind. Im Alltag werden Pigmente beispielsweise in Lacken oder Kunststoffen verwendet.
- **Farbstoffe:** Farbmittel, die in ihrem Anwendungsmedium löslich sind. Sie finden oft bei der Färbung von Lebensmitteln oder Textilien Anwendung.

Gerade der Begriff **„Farbstoff“** wird im Alltag oft zu allgemein verwendet. Es handelt sich dabei nur um eine Untergruppe der farbgebenden Substanzen.

Für die Schulpraxis ist jedoch lediglich eben jene Gruppe der Farbstoffe interessant, da Pigmente einerseits durch ihr besonderes Lösungsverhalten nur schwer zu verarbeiten sind und andererseits ihre Chemie nur wenig Überschneidungen mit den Bildungsstandards bietet.[2]

## 3.2. Farbigkeit

Das folgende Kapitel soll erläutern, welche physikalischen, biologischen und chemischen Prozesse für die menschliche Wahrnehmung unterschiedlicher Farbtöne verantwortlich sind.

### 3.2.1. Farbe - physikalisch

Aus physikalischer Sicht betrachtet ist Farbe eine oder mehrere Wellen elektromagnetischer Strahlung bestimmter Wellenlängen. Der Spektralbereich elektromagnetischer Wellen, die das menschliche Auge wahrnehmen kann, ist verhältnismäßig klein. Die Wellenlängen müssen im Bereich von  $\lambda = 380 - 780 \text{ nm}$  (Abb. 3.1) liegen.

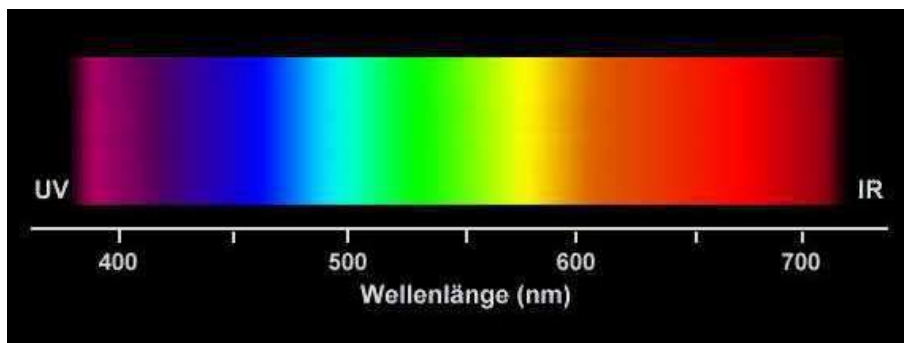


Abbildung 3.1.: Das Spektrum des sichtbaren Lichts

Der Zusammenhang der Energie  $E$  und der Wellenlänge  $\lambda$  einer elektromagnetischen Welle ist gegeben durch  $E = h \cdot f$  mit  $h$  als Plancksches Wirkungsquantum und  $f$  als Frequenz. Durch  $f = \frac{c}{\lambda}$  mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$  ergibt sich also

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}.$$

Es gilt also offensichtlich: Je kleiner die Wellenlänge desto höher ihre Energie. Verallgemeinernd lässt sich also sagen, dass zum Beispiel blaues Licht einen höheren Energiewert als rotes Licht hat. (vgl. Abb. 3.1)

Umrandet wird das Spektrum sichtbaren Lichts auf der energiereicheren Seite durch den Ultraviolett (UV)-Bereich (,ultra'(lat.) = jenseits, über) mit  $\lambda = 1 - 380 \text{ nm}$  und auf der energieärmeren Seite durch den Infrarot (IR)-Bereich (,infra'(lat.) = unterhalb) mit  $\lambda = 780 \text{ nm} - 1 \text{ mm}$ . Die Farben ,Schwarz' und ,Weiß' - auch ,unbunte' Farben genannt - tauchen im Spektrum (Abb. 3.1) nicht auf. Sie sind also nicht durch eine Welle einer konkreten einzelnen Wellenlänge darstellbar. Weißes Licht entsteht durch Überlappung mehrerer Lichtfarben, Schwarz beinhaltet gar keine Lichtfarbe (siehe unten: Kapitel 3.1.2 ,Farbe - biologisch').

Wie alle anderen elektromagnetischen Wellen sind farbige Lichtwellen in der Lage, die gleichen Phänomene zu zeigen, zum Beispiel Brechung, Absorption oder Spiegelung. Die Intensität dieser Phänomene hängt oftmals von der Wellenlänge - also indirekt von der Farbe - des Lichts ab. Im Alltag ist das zum Beispiel beim Phänomen Regenbogen zu beobachten: Das weiße Sonnenlicht trifft auf einen Regentropfen, an dem es wellenlängenabhängig unterschiedlich stark gebrochen wird. Die kürzeren Wellenlängen - also die Farbtöne Lila, Blau etc. - werden stärker gebrochen als die Wellen mit einer höheren Wellenlänge. Insgesamt spalten sich die Farbtöne beim Durchgang des Lichts durch die Regentropfen auf und ein Regenbogen erscheint.[30]

### 3.2.2. Farbe - biologisch

Das menschliche Auge ist in der Lage unterschiedliche Farbtöne zu erkennen. Ermöglicht wird dies durch sogenannte ,Zapfen', lichtempfindliche Zellen in der Netzhaut des Auges. Zusammen mit den sogenannten ,Stäbchen' ermöglichen sie das Sehen.[31] Der Unterschied zwischen den Stäbchen und den Zapfen besteht in ihrer Typenzahl und ihrer Lichtempfindlichkeit. Von den Stäbchen existiert nur ein Typ. Da sie sehr lichtempfindlich sind, erfolgt ihr Beitrag zum Sehsinn bei lichtschwachen Umgebungen. Von den Zapfen existieren drei verschiedene Typen. Dadurch können sie verschiedene Lichtinformationen aufnehmen und somit das Farbsehen ermöglichen. Sie funktionieren erst ab einem bestimmten Beleuchtungsgrad, weshalb das menschliche Auge in dunkleren Umgebungen den Farbsinn verliert.

Die drei verschiedenen Zapfentypen sind:



- S-Zapfen ('S' für short wavelength receptor),
- M-Zapfen ('M' für medium wavelength receptor)
- L-Zapfen ('L' für long wavelength receptor).

Die Absorptionsmaxima der Zapfen liegen bei  $\lambda_S = 420 \text{ nm}$ ,  $\lambda_M = 534 \text{ nm}$  und  $\lambda_L = 563 \text{ nm}$ . [32] Dies entspricht den Farbtönen Blau-Violett, Smaragdgrün und Gelbgrün. Obwohl die L-Zapfen ein deutlich niedrigeres Absorptionsmaximum haben, nutzt sie das menschliche Auge als Rezeptor für rotes Licht, das sich theoretisch über dem Absorptionsmaximum (ca. ab  $\lambda = 620 \text{ nm}$ ) befindet. Dies geschieht, damit der Unterschied zwischen der ans Gehirn weitergeleiteten Information der L-Zapfen und der M-Zapfen größer und somit ein besseres Farbsehen ermöglicht wird. Jede Farbinformation des menschlichen Auges setzt sich also aus den drei Farben Rot, Grün und Blau zusammen. Eine additive Mischung dieser drei ‚Grundfarben‘ erscheint dem menschlichen Auge weiß. (s. Abb. 3.2)

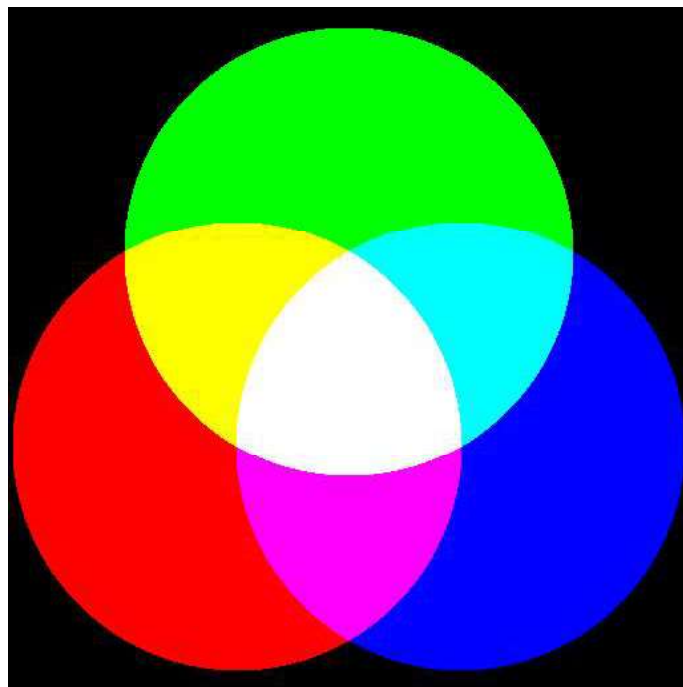


Abbildung 3.2.: Überlappung der drei additiven Grundfarben Rot, Grün und Blau

Diese drei Farbtöne reichen aus, um alle dem menschlichen Auge sichtbaren Farbtöne darzustellen. Daher funktionieren moderne LED-Monitore (Computer, Fernseher etc.) nach diesem Prinzip. Bei genauerer Betrachtung eines weißen Monitorbildes, beispielsweise durch ein abgeschraubtes Kameraobjektiv hinreichender Vergrößerung, sind die einzelnen Teil-LED's der Farben Rot, Grün und Blau zu erkennen (Abb. 3.3).

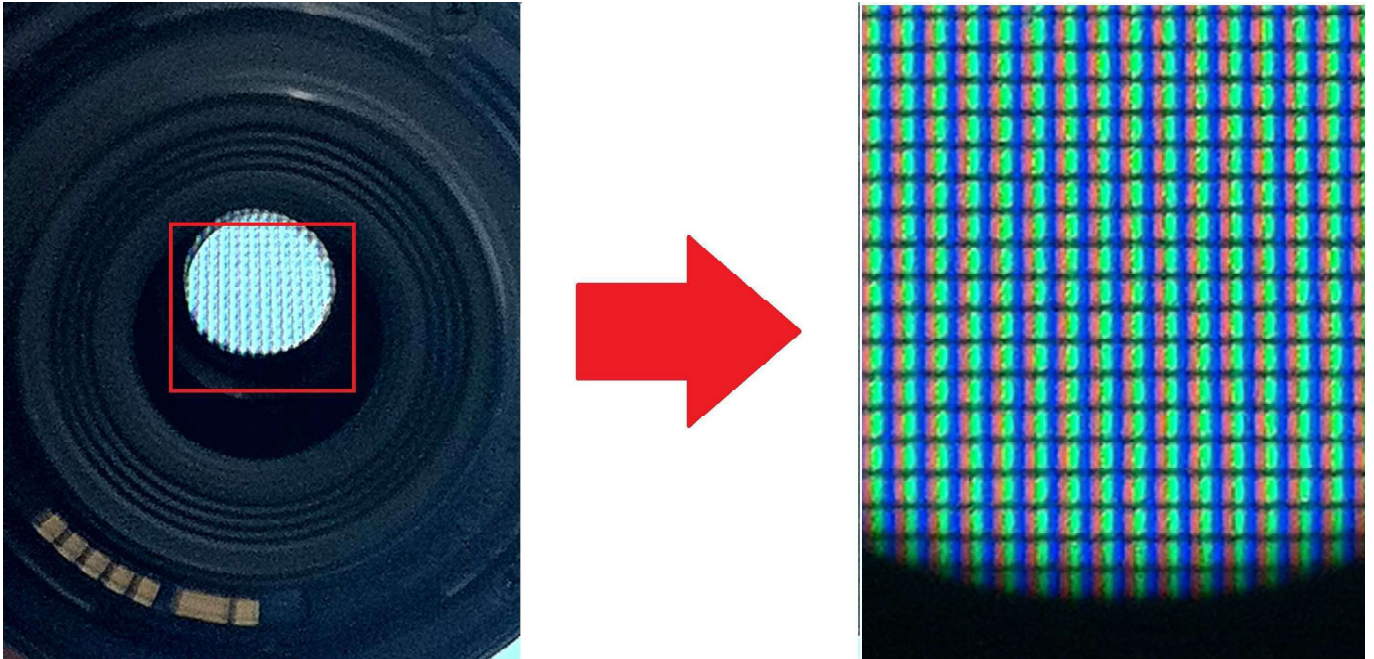


Abbildung 3.3.: Betrachtung eines weißen Monitorbildes durch ein Kameraobjektiv

Eine andere Möglichkeit der Farbendarstellung ergibt sich durch die Komplementärfarben der drei Grundfarben. Die Komplementärfarbe ergibt sich durch die Absorption der Grundfarbe von weißem Licht. Wird beispielsweise rotes Licht von weißem Licht absorbiert, resultiert der Farbton ‚Cyan‘. Bei der Überlagerung der absorbierenden Farbtöne der Grundfarben, erhält man schwarz. Abbildung 3.4 zeigt das Pendant zu Abbildung 3.2 mit den Komplementärfarben auf weißem Untergrund.

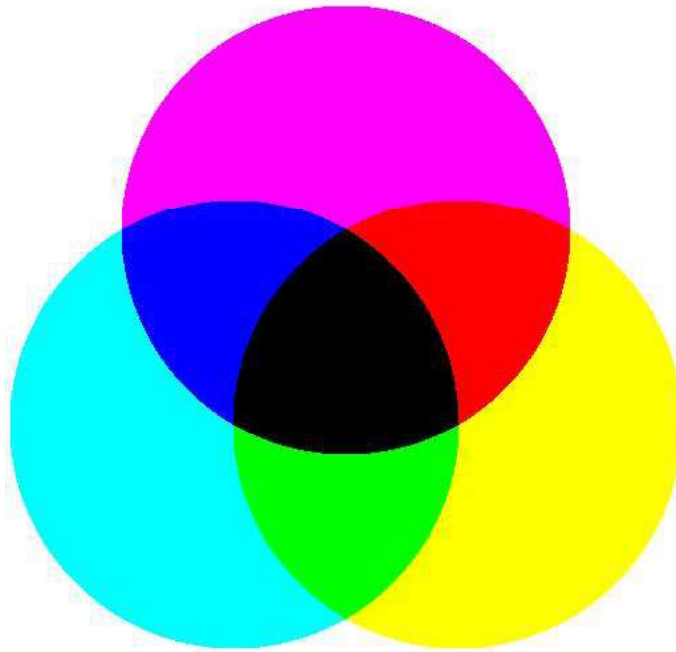


Abbildung 3.4.: Überlappung der drei subtraktiven Grundfarben Cyan, Magenta, und Gelb

In der Technik finden daher auch zwei verschiedene Farbskalen Verwendung. Die RGB-Skala, die auf den additiven Grundfarben Rot, Grün und Blau basiert, und die Euroskala, die sich auf das CMYK-Farbmodell mit den subtraktiven Grundfarben Cyan, Magenta und Gelb (englisch: 'yellow') bezieht.

### 3.2.3. Farbe - chemisch

Farbiges Licht kann, wie bereits erwähnt, wie jede andere elektromagnetische Welle absorbiert werden. Wie stark eine elektromagnetische Welle absorbiert wird - also ihr ‚Absorptionsgrad‘ - hängt von der Wellenlänge der elektromagnetischen Welle ab. So kann es passieren, dass bestimmte Gegenstände (genauer: die Moleküle der Gegenstände) innerhalb des Spektrums des sichtbaren Lichts unterschiedliche Absorptionsgrade haben. Ist dies der Fall, erscheint der Gegenstand farbig. Er nimmt bei Bestrahlung mit weißem Licht die Komplementärfarbe zu seinem

Absorptionsmaximum oder die Farbmischung der Komplementärfarben seiner Absorptionsmaxima an. Um elektromagnetische Wellen zu absorbieren, muss ihre Energie im Farbstoffmolekül umgewandelt werden. Dies geschieht bei den einzelnen farbigen Stoffen auf unterschiedliche Weise. Fast immer spielen Elektronenübergänge dabei eine Rolle. Da die Differenzen zwischen einzelnen Elektronenzuständen diskrete Energiebeträge sind (vgl. Theorie der Quantenmechanik), sind in Farbstoffmolekülen auch nur eine oder mehrere diskrete Wellenlängen in der Lage, ein Elektron des Farbstoffmoleküls anzuregen und dadurch von diesem absorbiert zu werden. Die anderen Wellenlängen werden reflektiert oder transmittiert. Dieser Prozess von Absorption, Reflexion und Transmission lässt den Gegenstand farbig erscheinen. Da die Energie sichtbaren Lichts vergleichsweise gering ist, muss die Anregung eines Farbstoffmoleküls entsprechend ‚einfach‘ (also durch einen geringen Energiebetrag) möglich sein.

Die Farbe vieler Stoffe beruht auf sogenannten Charge-Transfer (CT)-Übergängen. Dabei handelt es sich um Ladungsübergänge innerhalb eines Moleküls oder eines Komplexes. Die CT-Übergänge sind die Ursache der Farbigkeit zahlreicher Salze und Metallkomplexe. Beispielsweise sind die intensiven Farben der Permanganatsalze oder des bekannten Berliner Blaus auf solche Übergänge zurückzuführen. Die ‚Ladung‘ wird dabei in Form eines Elektrons vom Komplexliganden auf das Metall (oder umgekehrt) übertragen. Dieses Elektron besetzt nach dem Übergang meist ein anderes Orbital als vorher und hat dadurch einen anderen (höheren) Energiewert. Diese Energie gewinnt es durch Absorption elektromagnetischer Strahlung aus dem Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts.

Organische Moleküle haben in der Regel keine CT-Übergänge. Dennoch existiert eine Vielzahl an organischen Farbstoffen. Ihnen muss also ein anderes Prinzip zugrunde liegen. Zur besseren Erklärung der Farbigkeit organischer Verbindungen soll zunächst ein Blick auf die Molekülorbitalmodelle der Verbindungen Wasserstoff und Stickstoff geworfen werden. (Abb. 3.5)

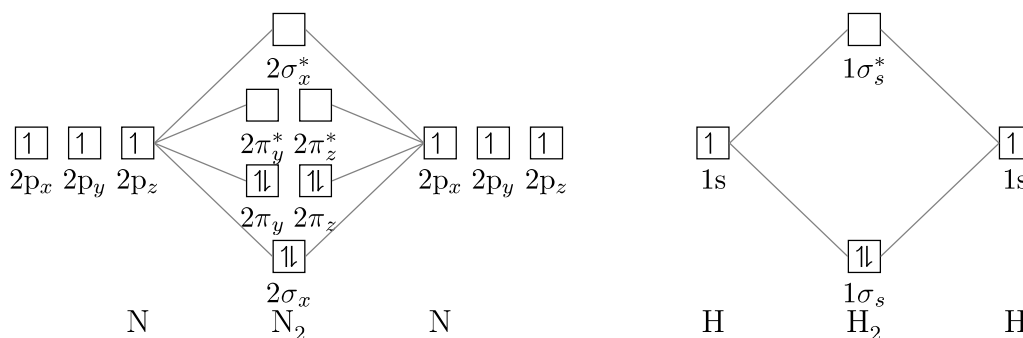


Abbildung 3.5.: Ausschnitt des Molekülorbitalmodells eines Stickstoffmoleküls (links) und eines Wasserstoffmoleküls (rechts)

Es ist zu erkennen, dass die Energiedifferenz zwischen bindenden und anti-bindenden  $\pi$ -Molekülorbitalen kleiner ist als zwischen bindenden und anti-bindenden  $\sigma$ -Molekülorbitalen. Da der Abstand zum nächst höheren Orbital folglich kleiner ist, erfordert eine Anregung von Elektronen in  $\pi$ -Molekülorbitalen deutlich weniger Energie. Etwas anschaulicher wird die Funktionsweise organischer Farbstoffe bei Betrachtung des Molekülorbitalmodells von 1,3-Butadien.

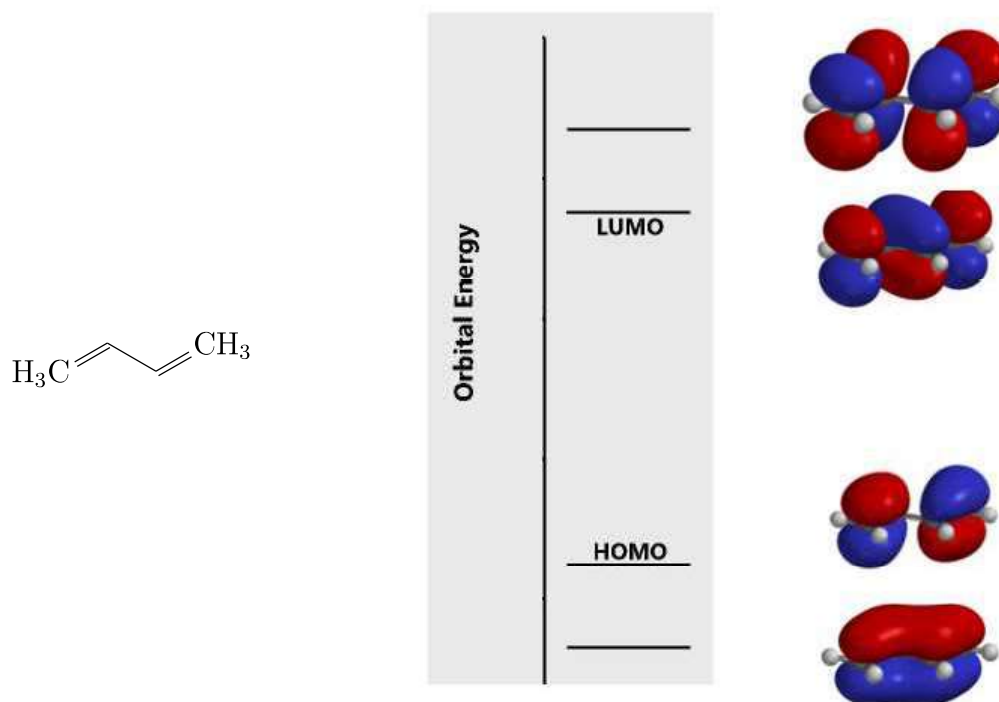


Abbildung 3.6.: Lewisformel von 1,3-Butadien (links), Molekülorbitale des  $\pi$ -Systems des 1,3-Butadiens (rechts; erstellt mit Spartan®)

In der Strukturformel des Butadiens (Abb. 3.6, links) ist zu erkennen, dass das Molekül aus 4  $\text{sp}^2$ -hybridisierten Kohlenstoffatomen besteht. Somit können die 4 einzelnen p-Orbitale bei richtiger Anordnung ein  $\pi$ -Bindungssystem eingehen. Dabei entstehen 4  $\pi$ -Molekülorbitale, die in Abb. 3.6 rechts dargestellt sind. Zwei dieser Molekülorbitale sind bindend, zwei antibindend. Da sich 4 Elektronen (2 Doppelbindungen) im  $\pi$ -System befinden, werden im Grundzustand die beiden bindenden Molekülorbitale besetzt. Die beiden antibindenden Molekülorbitale bleiben unbesetzt. Entscheidend ist nun der Abstand zwischen dem energetisch höchstliegenden, noch mit Elektronen besetzten Molekülorbital (Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO)) und dem energetisch tiefstliegenden, noch nicht besetzten Molekülorbital (Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO)). Dieser Abstand definiert den kleinstmöglichen Energiebetrag, den das Molekül absorbieren kann, um ein Elektron in einen energetisch höheren Zustand zu versetzen (aus dem HOMO in das LUMO). Im Falle des angesprochenen Butadiens ist dieser Abstand

relativ groß. Der Betrag entspricht ungefähr der Energie einer elektromagnetischen Welle mit der Wellenlänge  $\lambda = 227$  nm. Bei Betrachtung des Abstandes zwischen HOMO und LUMO bei längeren Ketten konjugierter Doppelbindungen, ist zu erkennen, dass er sich zunehmend verkleinert. So liegt die für den HOMO-LUMO-Übergang eines Hexatriens (Abb. 3.7) benötigte Wellenlänge schon bei  $\lambda = 267$  nm.

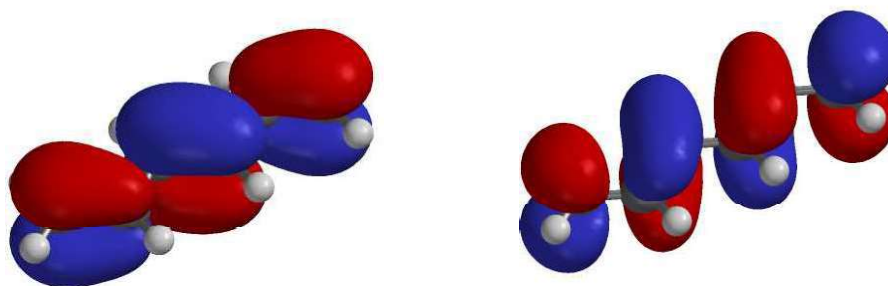


Abbildung 3.7.: HOMO (links) und LUMO (rechts) des 1,3,5-Hexatriens

Ab einer gewissen Größe des  $\pi$ -Systems kann die benötigte Wellenlänge in den Bereich sichtbaren Lichts gelangen. Ist dies der Fall, erscheint das Molekül farbig. Abb. 3.8 zeigt einen einfachen Zusammenhang zwischen der Wellenlänge des Absorptionsmaximums und der Länge der Kette konjugierter Doppelbindungen.[33]

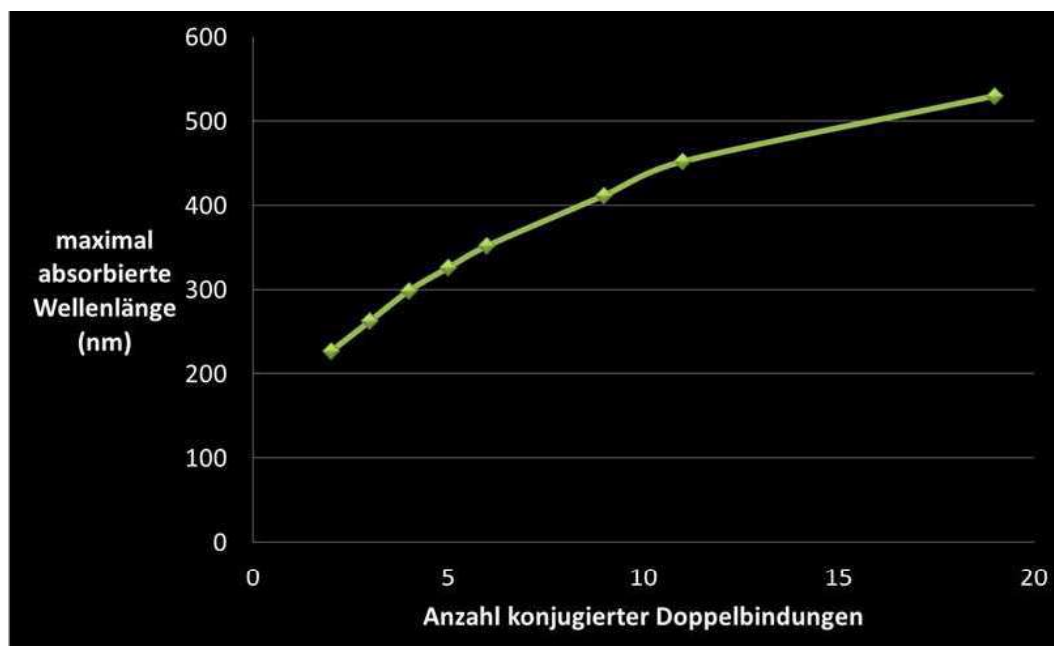


Abbildung 3.8.: Der Zusammenhang zwischen der Anzahl konjugierter Doppelbindungen bei Polyenen der Form  $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}=\text{CH})_n-\text{CH}_3$  und der größten, maximal absorbierten Wellenlänge.

Dass die Doppelbindungen in konjugierter Form (also abwechselnd mit Einfachbindungen) vorliegen, ist dafür von entscheidender Bedeutung. Dies sichert, dass jedes Kohlenstoffatom der Kette  $sp^2$ -hybridisiert ist und exakt ein p-Orbital senkrecht zur Bindungsebene hat (vgl. Ethen in Abb. 3.9).

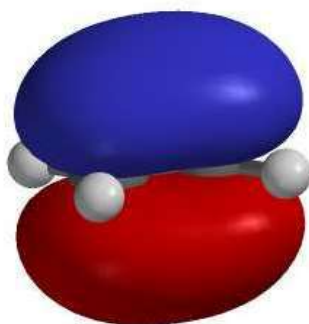


Abbildung 3.9.: Zu einem  $\pi$ -Molekülorbital überlappende p-Orbitale im Ethen-Molekül



Das ‚Entfernen‘ oder ‚Hinzufügen‘ einer Doppelbindung in dieses System konjugierter Doppelbindungen würde eine Überlappung der p-Orbitale unmöglich machen. Es würde entweder ein p-Orbital fehlen oder die  $\pi$ -Bindung um  $90^\circ$  drehen.

Neben Ketten und Ringen (z. B. Naphthalin, Abb. 3.10) mit konjugierten Doppelbindungen enthalten organische Farbstoffe funktionelle Gruppen, die die Elektronendichte und damit die Energiebeträge der Orbitale verändern.

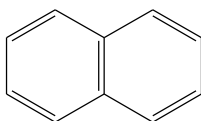


Abbildung 3.10.: Strukturformel von Naphthalin

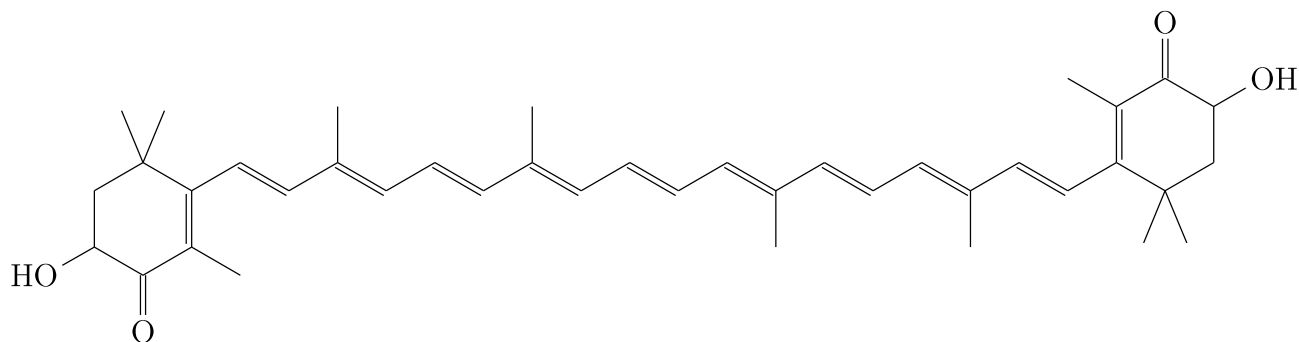
Diese funktionellen Gruppen werden nach der Farbstofftheorie von Witt als ‚auxochrome‘ (Elektronendichte im  $\pi$ -System wird erhöht) beziehungsweise als ‚antiauxochrome‘ (Elektronendichte wird verringert) Gruppen bezeichnet. Tabelle 3.1 zeigt einige Vertreter beider Gruppen.

| Auxochrome Gruppen |      |      | Antiauxochrome Gruppen |       |        |
|--------------------|------|------|------------------------|-------|--------|
| R–NH <sub>2</sub>  | R–OH | R–OR | R–NO <sub>2</sub>      | R–CHO | R–COOH |

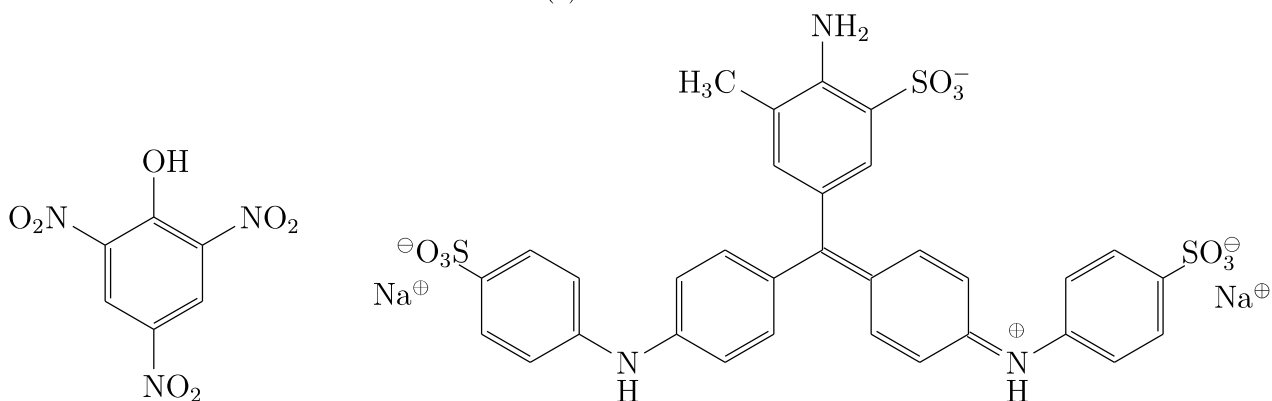
Tabelle 3.1.: Auxochrome und antiauxochrome Gruppen

Diese funktionellen Gruppen verschieben die Absorption des Moleküls weiter in den längerwelligen Bereich (‚bathochrome‘ Verschiebung), unabhängig davon, ob es sich um eine auxochrome oder antiauxochrome Gruppe handelt.

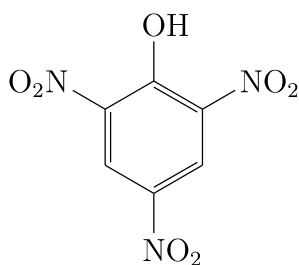
Zusammengefasst bestehen organische Farbstoffe also aus einem größeren System konjugierter Doppelbindungen (‚Chromophor‘) mit auxo- oder antiauxochromen Substituenten. Abbildung 3.11 zeigt einige Beispiele für organische Farbstoffe.



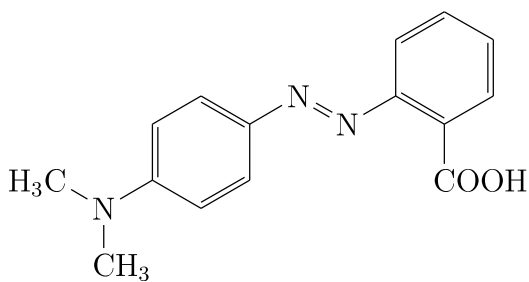
(a) Astaxanthin



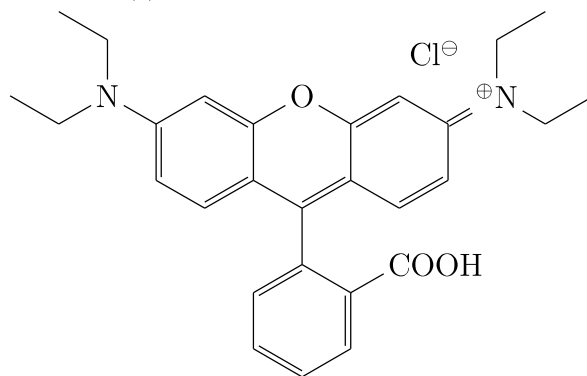
(c) Wasserblau



(b) Pikrinsäure



(d) Methylrot



(e) Rhodamin B

Abbildung 3.11.: Strukturformeln einiger Farbstoffe

Der Farbstoff Methylrot (Abb. 3.11d) zeigt, dass der Chromophor nicht zwangsläufig aus einer reinen Verkettung von Kohlenstoffatomen mit konjugierten Doppelbindungen bestehen muss. Entscheidend ist lediglich die  $sp^2$ -Hybridisierung der Atome. Die  $N=N$ -Bindung im Fall von

Methylrot eignet sich ebenfalls als chromophore Gruppe. Sie klassifiziert die sogenannten Azofarbstoffe, die in vielen Unterrichtskonzepten dieser Arbeit eine zentrale Rolle einnehmen. Im Folgenden sollen sie näher beleuchtet werden.

### 3.3. Azofarbstoffe

#### 3.3.1. Aufbau

Allen Azofarbstoffen ist die sogenannte ‚Azobrücke‘ ( $R_1-N=N-R_2$ ) gemein. Je nach Verwendungszweck können die beiden Komponenten ( $R_1, R_2$ , häufig Aromaten) diverse Substituenten haben, um optische Veränderung oder angepasste Löslichkeiten zu erzielen. Die Anzahl der Azobrücken im Molekül bestimmt, ob es sich um einen Mono- (eine Azobrücke), Bis- (zwei Azobrücken) oder Trisazofarbstoff (drei Azobrücken) handelt.

#### 3.3.2. Historisches

Mit dem Aufschwung der Textilindustrie, begründet durch die steigende maschinelle Stoffproduktion Mitte des 19. Jahrhunderts, stieg die Nachfrage an Farbstoffen. Schon bald waren die Grenzen der natürlichen Farbstoffgewinnung erreicht und die Erforschung synthetischer Farbstoffe lief auf Hochtouren. Schon in den 1840er-Jahren entwickelte sich die Grundidee, Farbstoffe aus Steinkohleteer zu gewinnen. Grund hierfür war die neu gewonnene Möglichkeit, einzelne Substanzen aus dem Steinkohleteer zu isolieren. Entdeckt wurde dies durch Ferdinand Friedlieb Runge im Jahre 1834. Ein Bestandteil des Steinkohleteers ist Anilin. Dem deutschen Chemiker Peter Griess gelang es im Jahre 1860 durch Einwirken salpetriger Säure auf eine ethanolische Anilin-Lösung einen gelb-kristallinen Feststoff zu synthetisieren. Dies ist die erste bekannte Synthese eines Azofarbstoffes: Anilingelb (Abb. 3.12).

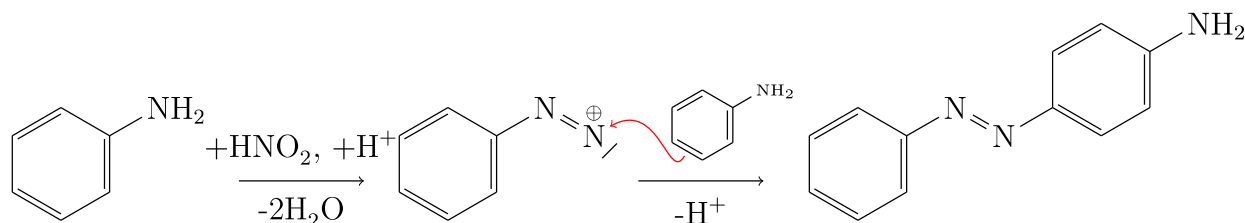


Abbildung 3.12.: Synthese von Anilinelb aus Anilin und salpetriger Säure

1884 konnte Peter Böttger das Patent für den ersten Bisazofarbstoff ‚Kongorot‘ anmelden (Abb 3.13).

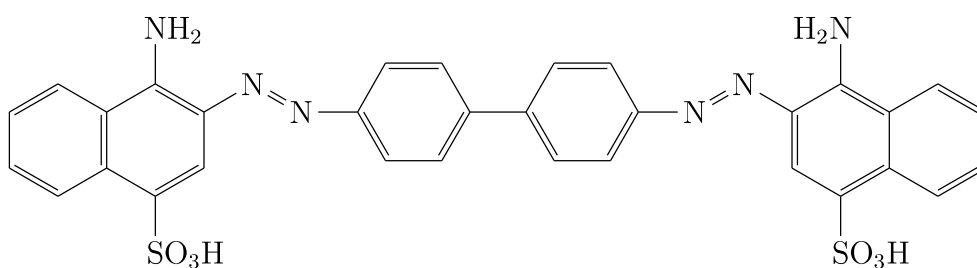


Abbildung 3.13.: Strukturformel von Kongorot

In der Folgezeit stieg die Zahl synthetischer Azofarbstoffe massiv. Verarbeitung, Herstellung und Farbechtheit der Azofarbstoffe stellten alle bis dahin bekannten Farbstoffe in den Schatten und durch ihre Vielzahl wuchs die Zahl ihrer Anwendungsgebiete schlagartig an. So trugen die synthetischen organischen Farbstoffe und insbesondere die Azofarbstoffe dazu bei, dass sich zu jener Zeit eine eigenständige chemische Industrie entwickeln konnte. Viele Firmen, die sich später zu großen Firmen der Chemie entwickelten (z. B. Badische Anilin- und Sodafabrik (BASF)), starteten als ‚Farbstoffproduzenten‘. Durch die enge Zusammenarbeit mit Universitäten und die Einrichtung eigener Laboratorien konnten vor allem deutsche Firmen bis 1913 87 % der Weltfarbstoffproduktion einnehmen.

Durch die Entdeckung der gesundheitlichen Risiken einiger Azofarbstoffe in den 1980er-Jahren

ging die Nachfrage etwas zurück. Jedoch sind Azofarbstoffe mit einem Anteil von ungefähr 50 % an der Weltproduktion von Farbstoffen nach wie vor ein zentrales Standbein der Farbstoffindustrie. Der Hauptproduktionsmarkt hat sich jedoch in den 90er-Jahren in den asiatischen Raum (größtenteils nach Indien) verlagert.[34]

### 3.3.3. Herstellung

Bis heute werden Azofarbstoffe in Industrie und im Labormaßstab mittels der sogenannten ‚Azokupplung‘ hergestellt. Ihr unterliegt chemisch das gleiche Prinzip wie schon im 19. Jahrhundert bei der Synthese von Anilingelb. Die Azokupplung besteht aus zwei Teilschritten.

- Schritt 1: Diazotierung eines aromatischenamins
- Schritt 2: Elektrophile Substitution der Diazo-Verbindung an einem aromatischen System

Im Folgenden werden die mechanistischen Details der Reaktion geklärt.

Das zur Diazotierung benötigte Nitrosylkation wird aus einer sauren Nitrit-Lösung gewonnen.

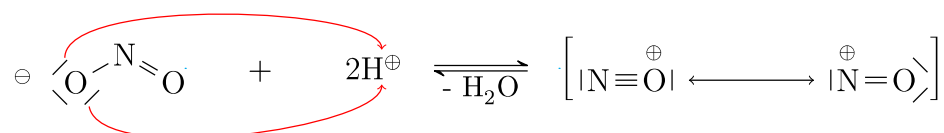


Abbildung 3.14.: Gewinnung des Nitrosylkations aus einem Nitrit-Ion

Das Nitrosylkation ist in der Lage, aromatische Amine zu diazotieren (Abb. 3.15). Da diese Reaktion exotherm ist und das entstehende Diazonium-Salz eine hohe thermische Instabilität aufweist, muss dieser Schritt bei niedrigen Temperaturen und geringer Geschwindigkeit ablaufen.

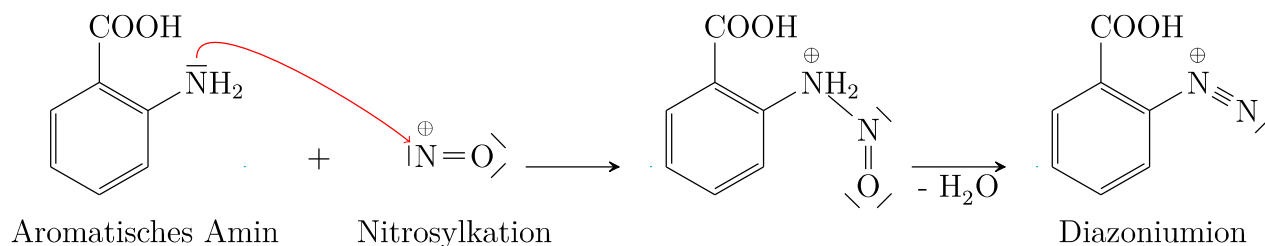


Abbildung 3.15.: Diazotierung eines aromatischen Amins (Anthranilsäure)

Im letzten Schritt koppelt das so gewonnene Diazoniumion per elektrophiler Substitution an ein weiteres aromatisches System (Abb. 3.16).

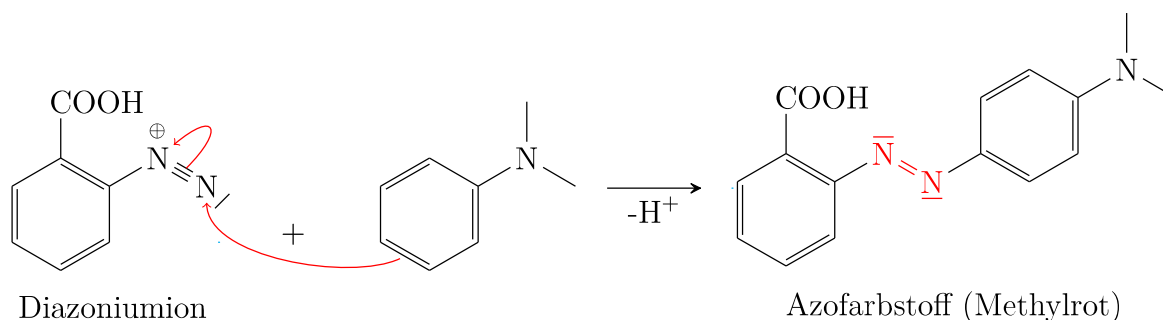


Abbildung 3.16.: Azokupplung eines Diazoniumions an einen Aromaten zur Bildung eines Azofarbstoffes (hier: Methylrot)

Die Synthese ist leicht und schnell durchführbar. Die erzielte Ausbeute ist meist sehr gut.

### 3.3.4. Gesundheitsrisiken

Schätzungen zufolge sind ca. 500 der 1000 sich weltweit im Umlauf befindlichen Azofarbmittel (also Azofarbstoffe und Azopigmente) potenziell kanzerogen.[35]. Ob und wieviele dieser Azofarbmittel auch in Deutschland in Konsumprodukten wie Textilien, Farben etc. im Umlauf sind, ist nicht erforscht. Eine Abschätzung ist durch die voranschreitende Globalisierung mit weitläufigeren und komplexeren Handels- und Produktionswegen nicht möglich. Dies stellt ein großes Problem dar und sorgt gleichermaßen für berechtigte Sorge und überzogene Hysterie im Bezug auf die Verwendung von Azofarbmitteln. Die Gefährdung, die von einem Teil der

Azofarbmittel ausgeht, soll im Folgenden erläutert werden.

### Die Kanzerogenität einiger Azofarbmittel

Nach heutigem Verständnis der Krebsentstehung (Karzinogese) können kanzerogene Stoffe als Mutagen wirken und so eine Mutation bestimmter Zellen herbeiführen. Sollte die betroffene Zelle nicht durch Zelltod oder DNA-Reparatur beseitigt werden, bleibt die Mutation erhalten. Dies kann dann zu Fehlern in der Informationskette führen. Speziell im Falle von Zellen, die Wachstum (Reproduktion) und Zerfall (Zelltod) von gewebebildenden Zellen steuern, hat dies gesundheitsschädigende Folgen. Die Mutation führt zu einem unkontrollierten Zellwachstum und der Ausbildung eines Tumors.[36] Einige Azofarbmittel oder ihre Reaktionsprodukte können im menschlichen Körper verstoffwechselt werden und eben jene Mutationen hervorrufen. Gerade im Fall der Azofarbstoffe (also die löslichen Azofarbmittel) wird die kanzerogene Wirkung meist durch eine reduktive Spaltung der Azobrücke und die daraus entstehenden aromatischen Aminen hervorgerufen. Abbildung 3.17 zeigt die Freisetzung aromatischer Amine am Beispiel des erwiesenermaßen kanzerogenen Azofarbstoffes Sudan I.

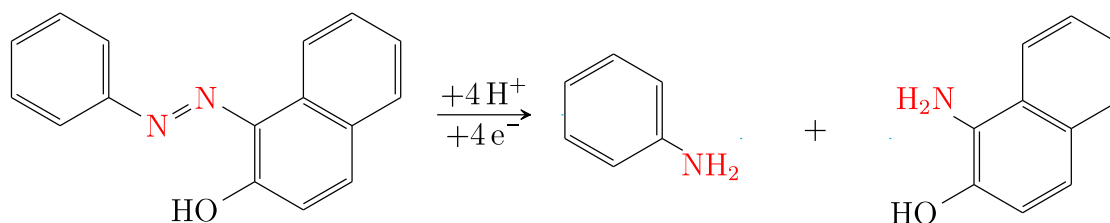


Abbildung 3.17.: Reduktive Spaltung des Azofarbstoffes Sudan I in freie aromatische Amine

Neben oxidativen Stoffwechselreaktionen ist diese reduktive Spaltung eines der häufigsten Produkte bei der metabolischen Verarbeitung von Azofarbstoffen im menschlichen Körper. Ermöglicht wird dies durch die stark elektronenziehende Eigenschaft der Azobrücke. Sie ist in den meisten Fällen der elektronegativste Teil des Azofarbstoffmoleküls. Die Reduktion erfolgt durch Reduktasen bildende Bakterien, die sich in Darm, Leber oder Haut befinden können.[37]

Auch die Dauer, in der der Azofarbstoff oder die entsprechenden freigesetzten aromatischen Amine im menschlichen Körper verweilen, hat Auswirkungen auf die Gefährdungsbeurteilung eines Azofarbstoffes. So ist zu beobachten, dass Azofarbstoffe, die selbst und deren Spaltprodukte ebenfalls über eine hohe Wasserlöslichkeit verfügen, oftmals keine erwiesene kanzerogene Wirkung aufweisen. Ein mögliches Merkmal einer solchen erhöhten Wasserlöslichkeit eines Azofarbstoffes sind Sulfonat-Gruppen ( $-\text{SO}_3^-$ ) (Abb. 3.18).

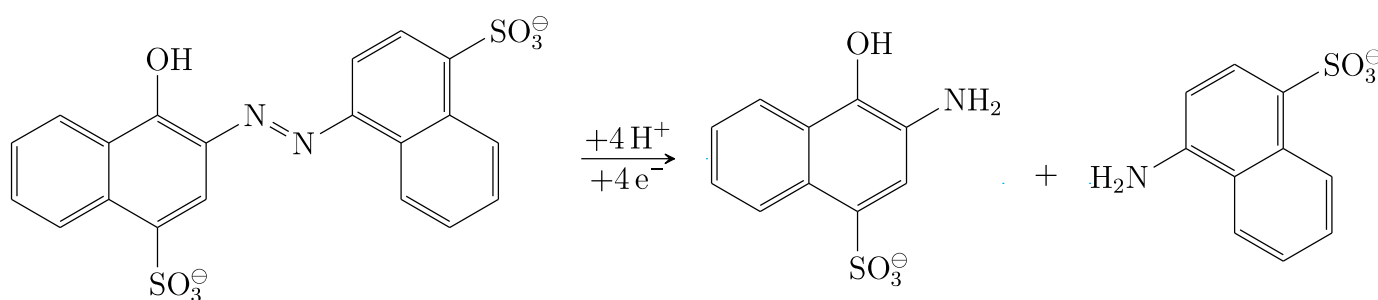


Abbildung 3.18.: Reduktive Spaltung von Azorubin (zugelassener Lebensmittelzusatzstoff). Sowohl Azofarbstoff als auch Spaltprodukte weisen hohe Wasserlöslichkeit auf.

Diese erhöhte Wasserlöslichkeit ermöglicht dem menschlichen Körper, die Azofarbstoffe und die entsprechenden metabolischen Produkte mit dem Urin wieder auszuscheiden.

### Expositionswege für den Menschen

Wie bei den meisten toxischen Stoffen sind verschiedene Expositionswege kanzerogener Azofarbstoffe für den menschlichen Körper möglich. Neben den häufigeren Aufnahmen durch Verschlucken oder Inhalieren besteht speziell im Fall der Azofarbstoffe die Möglichkeit der Resorption über die menschliche Haut. Dies geschieht am häufigsten durch das Tragen von mit Azofarbstoffen gefärbten Textilien. Gefärbte Kleidungsstücke enthalten durchschnittlich einen Farbanteil zwischen 0.25 % und 3.5 %, bei Lederprodukten können es bis zu 7 % sein.[38] Durch Schweiß und Reibung können Farbstoffmoleküle aus Textilfasern herausgelöst werden und auf der Haut oder den Haaransätzen (Haarfolikeln) haften. Der anschließende Transport durch die Haut in den menschlichen Körper erfolgt je nach Azofarbstoff auf unterschiedliche Weise. Wie bereits



erwähnt, befinden sich auch auf der menschlichen Haut Bakterien, die in der Lage sind, Azofarbstoffe reduktiv zu spalten. Diese Spaltung tritt häufig bei *hydrophilen* Azofarbstoffen auf. Sie werden noch auf der Hautoberfläche in die jeweiligen aromatischen Amine gespalten, die dann durch Transportprozesse in den Körper und den Blutkreislauf gelangen können, ehe sie weiter metabolisiert werden. Die Aufnahme *lipophiler* Azofarbstoffe erfolgt meist auf direktem Weg über die Haarfolikel oder ebenfalls durch Transportprozesse durch die Haut. Sie werden erst in den Zellen unter der Hautoverschicht, spätestens aber in der Leber, in die aromatischen Amine gespalten.

### **Andere Gesundheitsgefährdungen**

Bei sensiblen Menschen können bei Kontakt mit Azofarbstoffen Kontaktallergien auftreten. Circa 2 % der Kontaktallergien in Deutschland werden von Textilien verursacht. Dabei waren in über 60 % der Fälle die Textilien mit Azofarbstoffen gefärbt.[39]

Darüber hinaus konnte in den letzten Jahren ein Zusammenhang zwischen dem Verzehr von mit diversen Azofarbstoffen gefärbten Lebensmitteln und der Aktivität von Kindern hergestellt werden. Die Europäische Union (EU) reagierte darauf mit einer im Juli 2010 in Kraft getretenen Lebensmittelverordnung. Sie schreibt vor, dass entsprechend gefärbte Lebensmittel den Warnhinweis „Kann Aufmerksamkeit und Aktivität bei Kindern beeinträchtigen“ tragen müssen. Tabelle 3.2 zeigt eine Liste der betroffenen Azofarbstoffe.

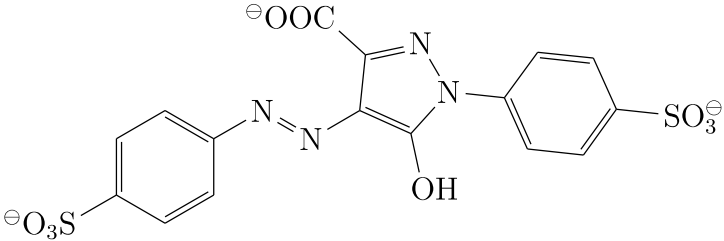
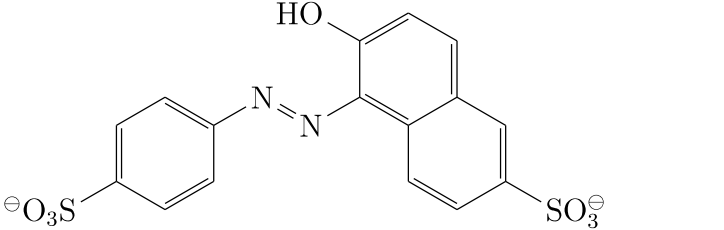
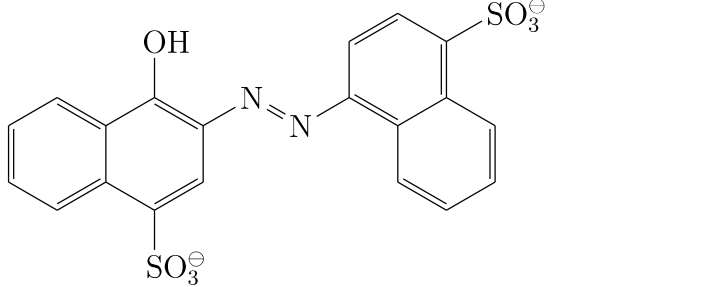
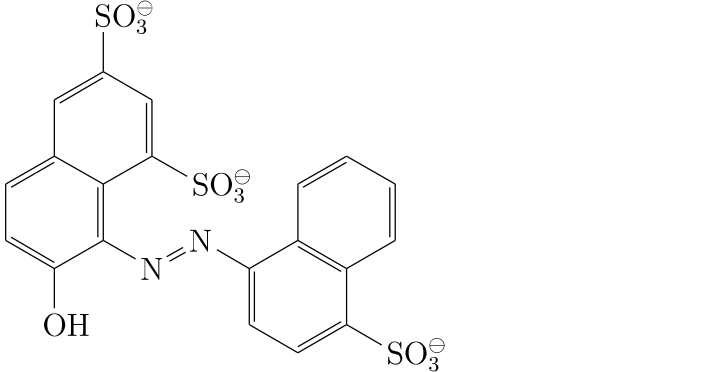
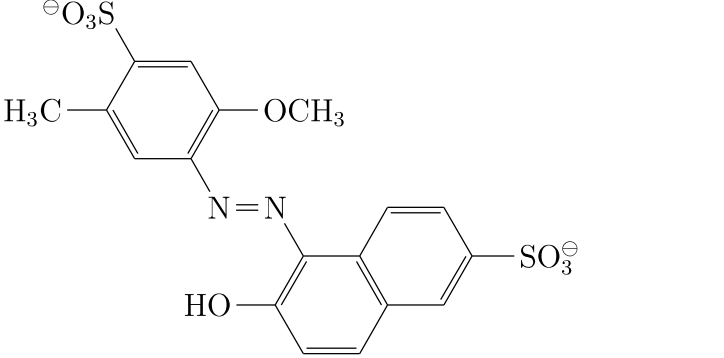
| Name            | E-Nummer | Strukturformel   |
|-----------------|----------|--|
| Tartrazin       | E 102    |    |
| Gelborange S    | E 110    |    |
| Azorubin        | E 122    |   |
| Cochenillerot A | E 124    |  |
| Allurarot AC    | E 129    |  |

Tabelle 3.2.: Liste der von der Lebensmittelverordnung betroffenen Azofarbstoffe

## 4. Magic Colours

### 4.1. Motivation

Dieses Unterrichtskonzept beruht auf dem Effekt der ‚Magischen Stifte‘, bei denen diverse Filzstifte beim Übermalen mit einem weiteren, farblosen Filzstift die Farbe ändern. Der Farbwechsel der Zaubermaler ist durch Hinweise auf den Fasermalern angedeutet. So hat beispielsweise ein Zaubermaler der Firma Carioca<sup>®</sup> (s. Abb. 4.1) mit dem Farbwechsel von Gelb nach Rot einen roten Schaft und einen gelben Deckel. Solche Stifte sind im Spielwarenhandel erhältlich und den Schülern wahrscheinlich bekannt. In jedem Fall weckt der verblüffende Effekt bei Schülern jeden Alters die Neugier zu erkunden, wie die Farbwechsel genau ablaufen und was sich hinter diesen Effekten verbirgt. Ausgehend von ersten Ideen, auf die die Schüler oftmals selbst kommen und/oder die ihnen plausibel erscheinen, wird in diesem Unterrichtskonzept das Geheimnis der ‚Magischen Stifte‘ forschend entwickelnd erarbeitet. Die Experimente sind mit kleinen Mengen handelsüblicher Chemikalien sowie den im Handel erhältlichen Stiften durchführbar. Sie gelingen mit hoher Wahrscheinlichkeit und weisen kaum Gefährdungsrisiken auf.



Abbildung 4.1.: Zaubermaler der Firma Carioca®

## 4.2. Vorbereitungen

Im folgenden Unterrichtskonzept sind Sicherheitshinweise zu den Experimenten nur in gesonderten Fällen explizit vermerkt. Das Tragen von Schutzkittel und Schutzbrille sowie eine grundlegende Sicherheitsunterweisung der Schüler vor Beginn der Durchführung wird vorausgesetzt.

### 4.2.1. Lernvoraussetzungen der Schüler

Die Schüler sollten eine chemische Reaktion erkennen können sowie Kenntnisse über den pH-Wert und Redoxreaktionen im Sinne der elektronentheoretischen Deutung haben. Durch didaktische Reduktion ist das Unterrichtskonzept auch in der Sekundarstufe I durchführbar. Für die Durchführung sind keine Vorkenntnisse über Farbigkeit oder den Aufbau von Farbstoffmolekülen notwendig.

### 4.3. Didaktische Umsetzung

Die Unterrichtskonzeption ist in drei Einzelteile strukturiert, die sich aus einer sachlogischen Herangehensweise zur Klärung des Phänomens der Farbwechsel ergeben.

- Teil 1, der ‚Magic Pen‘: Zunächst werden die Schüler den Stift, der die Farbwechsel verursacht, genauer betrachten. Bestandteile werden analysiert und mögliche erste Hypothesen zu seiner Wirkungsweise aufgestellt.
- Teil 2, die Zaubermaler: Im zweiten Schritt untersuchen die Schüler die Filzmaler, deren Farbe sich beim Übermalen verändert. Des Weiteren können einzelne Farbstoffe der Filzstifte identifiziert werden.
- Teil 3, eigene Herstellung magischer Stifte: Im letzten Schritt können die Schüler ihr erworbenes Wissen anwenden, um eigene Zaubermaler z. B. mit den von ihnen speziell gewünschten Farbänderungen herzustellen.

#### 4.3.1. Einstieg

In der Einstiegsphase sollen die Schüler den Effekt des Farbwechsels beobachten und erste Hypothesen aufstellen. Des Weiteren werden der ‚Magic Pen‘ und die Filzmaler einer genauen Betrachtung unterzogen. Die Filzstifte bieten äußerlich keine Auffälligkeiten gegenüber den ihnen bekannten, ‚gewöhnlichen‘ Fasermalern, wodurch die Schüler motiviert werden, den ‚Magic Pen‘ auch an anderen Fasermalern auszuprobieren. Durch einen Lehrerimpuls können die Schüler darüber hinaus das Verhalten anderer Buntstifte und Füller gegenüber der Flüssigkeit des ‚Magic Pen‘ untersuchen. (Exp. 1)

**Experiment 1: Untersuchung der Zaubermaler****Geräte und Chemikalien:**

Papier, Zaubermaler (z. B. von der Firma Carioca®) inklusive ‚Magic Pen‘, Tinte oder Füller, Tintenkiller (z. B. von Pelikan®), ‚normale‘ Filzstifte

**Gefahr und Sicherheit:**

Keine Risiken.

**Durchführung:**

1. Auf einem Blatt Papier werden die Farben der Zaubermaler mit dem ‚Magic Pen‘ übermalt.
2. Auf einem Blatt Papier werden die Farben normaler Filzstifte mit dem ‚Magic Pen‘ übermalt.
3. Auf einem Blatt Papier wird ein Schriftzug aus Tinte mit dem ‚Magic Pen‘ übermalt.
4. Auf einem Blatt Papier werden die Fasermaler aus 1. und 2. mit einem gewöhnlichen Tintenkiller übermalt.

**Beobachtung:**

Einige gewöhnliche Filzstifte ändern beim Übermalen mit dem ‚Magic Pen‘ ebenfalls ihre Farbe. Der ‚Magic Pen‘ löscht Tinte. Das Übermalen der Zaubermaler mit einem gewöhnlichen Tintenkiller erzielt die gleichen Effekte wie das Übermalen mit dem ‚Magic Pen‘.

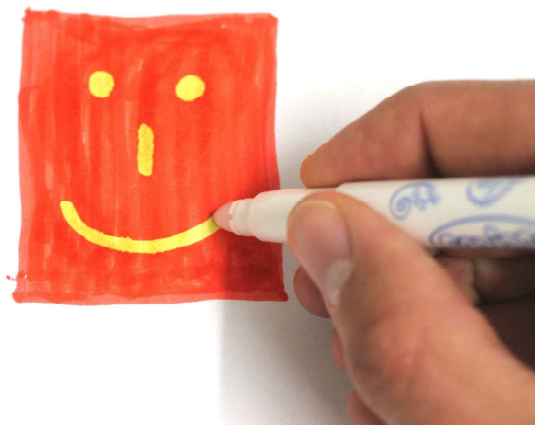


Abbildung 4.2.: Übermalen eines Zaubermalers mit dem ‚Magic Pen‘

#### Deutung im Erkenntnisprozess:

1. Die Lösungen in Tintenkillern und ‚Magic Pen‘ haben ähnliche chemische Eigenschaften.
2. Die Zaubermaler enthalten keine speziellen Farbstoffe, da auch bei gewöhnlichen Filzstiften Farbwechsel erzielt werden.

---

#### **4.3.2. Der ‚Magic Pen‘**

Im Zuge der Überlegungen, was die Farbwechsel verursachen könnte, kommen die Schüler meist schnell auf eine Farbwechselreaktion, die ihnen bereits bekannt ist: die Reaktionen der Säure-Base-Indikatoren. Die Hypothese, dass die Farbwechsel durch eine einfache pH-Verschiebung hervorgerufen werden, ist naheliegend und kann leicht durch die Schüler aufgestellt werden. Zur Überprüfung kann der pH-Wert der Flüssigkeit im ‚Magic Pen‘ gemessen werden (Exp. 2).

**Experiment 2: Bestimmung des pH-Werts des ‚Magic Pen‘****Geräte und Chemikalien:**

pH-Papier (pH = 1-14), ‚Magic Pen‘

**Gefahr und Sicherheit:**

Keine Risiken.

**Durchführung:**

Ein 2 cm langer Streifen pH-Papier wird mit dem ‚Magic Pen‘ bemalt.

**Beobachtung:**

Das pH-Papier färbt sich grün.



Abbildung 4.3.: Bestimmung des pH-Werts des ‚Magic Pen‘

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

Der pH-Wert der Minenflüssigkeit des ‚Magic Pen‘ beträgt ca. 11.

Die Schüler können mit diesem Ergebnis die Hypothese, dass eine einfache pH-Wert-Verschiebung die Farbwechsel verursacht, stützen. Zum Beweis dieser Hypothese kann eine einfache Lösung



mit pH-Wert 11 angesetzt und die Farben der Fasermaler damit ‚übermalt‘ werden (Exp. 3).

|  |
|--|
| <b>Experiment 3: pH-Verschiebung der Zaubermaler</b> |
|--|

**Geräte und Chemikalien:**

Papier, Wattestäbchen, Natronlauge ( $c = 0,1 \text{ mol/L}$ ), Zaubermaler (darunter die Zaubermaler von Carioca<sup>®</sup> mit den Farbwechseln Gelb  $\longrightarrow$  Rot, Schwarz  $\longrightarrow$  Pink, Grün  $\longrightarrow$  Rot und Blau  $\longrightarrow$  Gelb)

**Gefahr und Sicherheit:**

Natronlauge wirkt ätzend.

**Durchführung:**

Auf einem Blatt Papier werden die Farben der Zaubermaler aufgetragen. Anschließend werden einige Stellen mit dem ‚Magic Pen‘ übermalt und andere mit einem in Natronlauge getränkten Wattestäbchen bestrichen.

**Beobachtung:**

Die Natronlauge verursacht teilweise die gleichen (z. B. beim Stift Gelb  $\longrightarrow$  Rot), teilweise andere (z. B. beim Stift Blau  $\longrightarrow$  Gelb) Farbwechsel wie der ‚Magic Pen‘. In manchen Fällen löst die Natronlauge auch gar keine Farbwechsel (z. B. beim Stift mit dem Farbwechsel Grün  $\longrightarrow$  Rot) aus. In seltenen Fällen ergeben sich die gleichen Farbwechsel, jedoch mit Verzögerung gegenüber dem ‚Magic Pen‘ (z. B. beim Stift Schwarz  $\longrightarrow$  Pink, Verzögerungszeit ca. 30 s). (Abb. 4.4)



(a) Übermalen der magischen Stifte mit dem Magic Pen (links) und mit Natronlauge (rechts) (b) Stift mit Farbwechsel schwarz  $\longrightarrow$  pink nach ca. 30 s

Abbildung 4.4.

### Deutung im Erkenntnisprozess:

Der erhöhte pH-Wert des ‚Magic Pen‘ ist für einige der beobachteten Farbwechsel der Zauber-maler verantwortlich, jedoch nicht für alle.

An diesem Experiment können die Schüler erkennen, dass außer der pH-Verschiebung beim Übermalen mit dem ‚Magic Pen‘ mindestens noch eine weitere chemische Reaktion ablaufen muss.

Im Folgenden sollen aber zunächst die genauen Bestandteile des ‚Magic Pen‘ erarbeitet werden. Um die weiteren Bestandteile herauszufinden, können die Schüler auf ihr Wissen aus Experiment 1 zurückgreifen: Die vergleichbaren chemischen Eigenschaften der Lösungen des ‚Magic Pen‘ und eines gewöhnlichen Tintenkillers. Die Bestandteile von Tintenkillern sind im Internet gut recherchierbar, z. B. auf der Homepage der Firma Pelikan<sup>®</sup>. [40] Dort heißt es unter anderem:

„Die Löschfarbe eines Tintenlöschstiftes enthält Wasser, Reduktionsmittel und Soda.“[40]

Die Schüler erfahren also, dass in Tintenkillern neben einem hohen pH-Wert (durch die Soda  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) auch ein Reduktionsmittel vorliegt. Die Überprüfung, ob das auch für den ‚Magic Pen‘ gilt, erfolgt durch einen einfachen Nachweis für Reduktionsmittel (Exp. 4).

|  |
|--|
| <b>Experiment 4: Nachweis des Reduktionsmittels im ‚Magic Pen‘ mit Lugolscher Lösung</b> |
|--|

**Geräte und Chemikalien:**

Reagenzglas, Reagenzglasständer, Zange

‚Magic Pen‘, Stärke-Lösung, Lugolsche Lösung, Wasser

**Gefahr und Sicherheit:**

Lugolsche Lösung enthält unter anderem gelöstes Iod und kann bei längerer Exposition gesundheitsschädigend wirken. Entsorgung nach den Richtlinien.

**Durchführung:**

In einem Reagenzglas werden zu 5 mL der Stärke-Lösung ein bis zwei Tropfen Lugolsche Lösung zugegeben. Anschließend wird der ‚Magic Pen‘ mittels Zange am hinteren Ende geöffnet und die Mine entnommen. Durch Quetschen der Mine werden ein bis zwei Tropfen der Minenflüssigkeit in das Gemisch aus Stärke-Lösung und Lugolscher Lösung gegeben.

**Beobachtung:**

Nach Zugabe der Lugolschen Lösung färbt sich die Stärke-Lösung tiefblau. Das anschließende Zutropfen der Minenflüssigkeit des ‚Magic Pen‘ entfärbt die Lösung vollständig.

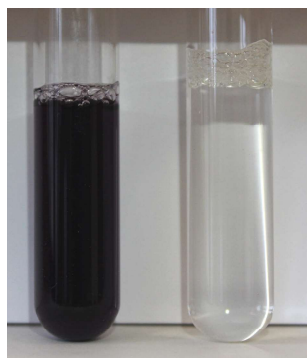


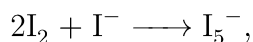
Abbildung 4.5.: Stärke-Lösung mit Lugolscher Lösung versetzt vor (links) und nach (rechts) Zugabe der ‚Magic Pen‘ - Lösung

### **Deutung im Erkenntnisprozess:**

Die Minenflüssigkeit des ‚Magic Pen‘ enthält ein Reduktionsmittel.

### **Erklärung:**

Lugolsche Lösung enthält eine Mischung aus Iod ( $I_2$ ) und Kaliumiodid (KI) im Verhältnis 1 : 2. Dies führt zur Bildung von Polyiodidionen, zum Beispiel gemäß



die wiederum mit der Amylose-Helix der Stärke einen tiefblauen Komplex bilden können. Durch das Hinzufügen eines Reduktionsmittels werden die Polyiodidionen gespalten (z. B.  $I_5^- + 4e^- \longrightarrow 5I^-$ ), was zum Verlust des Iod-Stärkekomplexes und damit der tiefblauen Farbe führt.

---

Mit dem Nachweis eines Reduktionsmittels in der Flüssigkeit des ‚Magic Pen‘ können die Schüler nun untersuchen, welches Reduktionsmittel im ‚Magic Pen‘ verwendet wurde. Einige Internetquellen zur Zusammensetzung eines Tintenkillers weisen Natriumsulfit als Reduktionsmittel aus. Sollten die Schüler nicht auf diesen Hinweis gestoßen sein, kann die Lehrkraft durch einen Impuls auf diesen Fakt hinweisen. Um zu bestätigen, dass es sich auch beim ‚Magic Pen‘ um Natriumsulfit handelt, kann eine Nachweisreaktion erfolgen (Exp. 5).

**Experiment 5: Nachweis von Sulfiten im ‚Magic Pen‘****Geräte und Chemikalien:**

Reagenzglas, Reagenzglasständer, 10-mL-Messpipette, Zange

Essigsäure ( $c = 2 \text{ mol/L}$ ), Bariumchlorid-Lösung ( $w = 5\%$ ), Wasser, Kaliumpermanganat, ‚Magic Pen‘

**Gefahr und Sicherheit:**

Kaliumpermanganat wirkt brandfördernd und umweltschädlich. Bariumchlorid-Lösung ist bei Verschlucken gesundheitsschädlich.

**Durchführung:**

In einem Reagenzglas werden in 10 mL Wasser *wenige* Kristalle Kaliumpermanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) gelöst. Die Lösung sollte nur schwach gefärbt sein. Anschließend wird die Lösung mit 1 mL der Essigsäure angesäuert. Danach wird aus einem ‚Magic Pen‘ die Mine entnommen und durch Ausdrücken werden einige Tropfen der Minenflüssigkeit bis zur Entfärbung in die  $\text{KMnO}_4$ -Lösung gegeben. Zuletzt werden wenige Tropfen der Bariumchlorid-Lösung zugegeben.

**Beobachtung:**

Die Zugabe der ‚Magic Pen‘-Flüssigkeit führt zu einer Entfärbung der  $\text{KMnO}_4$ -Lösung. Der Zusatz von Bariumchlorid-Lösung bewirkt eine Trübung der Lösung durch die Bildung eines weißen Niederschlags.

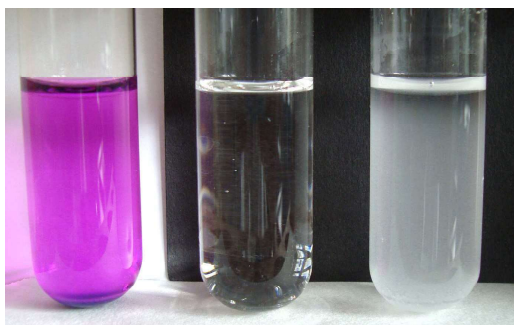


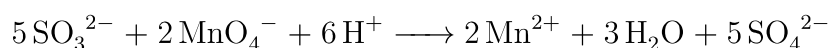
Abbildung 4.6.: Nachweis der Sulfitionen im ‚Magic Pen‘ durch  $\text{KMnO}_4$ -Lösung

### Deutung im Erkenntnisprozess:

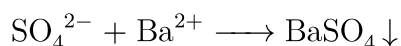
Im ‚Magic Pen‘ sind als Reduktionsmittel wie bei einem Tintenkiller Sulfitionen enthalten.

### Erklärung:

Sulfitionen reagieren mit Permanganat in einer Redoxreaktion gemäß



zu Sulfationen. Diese bilden mit  $\text{Ba}^{2+}$ -Ionen das schwerlösliche Bariumsulfat, das als Niederschlag ausfällt:



---

Um die bisherigen Ergebnisse zu überprüfen, können die Schüler nun eine alkalische Natriumsulfit-Lösung ansetzen und an den Farben der Zaubermaler ausprobieren. Schnell zeigt sich, dass mit dieser Lösung die gleichen Effekte wie mit dem ‚Magic Pen‘ erzielt werden.

### **4.3.3. Die Zaubermaler**

Nachdem die Inhaltsstoffe des ‚Magic Pen‘ geklärt sind, sollen die Schüler nun die Fasermaler des Zaubermaler-Satzes untersuchen. Einige Schüler haben bereits im Chemieanfangsunterricht eine genauere Untersuchung einiger Fasermaler vorgenommen. Dies geschieht bei der Behandlung

der Papierchromatographie als mögliches Stofftrennverfahren. Sie haben dabei beobachtet, dass viele Fasermalere Farbstoffgemische enthalten. Die Vermutung, dass dies bei den Zaubermalern ebenfalls der Fall sein könnte, ist naheliegend. Eine isolierte Betrachtung der einzelnen Farben der Fasermalere und ihr Reaktionsverhalten auf die ‚Magic Pen‘-Lösung kann zur Aufklärung der Farbwechseleffekte dienen, was die Schüler zu Experiment 6 führt.

**Experiment 6: Farbstofftrennung mittels Papierchromatographie und Benetzung mit Natriumsulfit-Lösung**

**Geräte und Chemikalien:**

Petrischalen, Rundfilter (Whatman Nr. 1;  $d = 125$  mm), 50-mL-Erlenmeyerkolben, Spatel, Schere, Fön

Natriumsulfit, Zaubermlere (darunter die Stifte mit folgenden Farbwechseln: Gelb  $\longrightarrow$  Rot und Grün  $\longrightarrow$  Rot), Wasser

**Gefahr und Sicherheit:**

Keine Risiken.

**Durchführung:**

In die Mitte eines Rundfilters wird ein Loch von ca. 1 cm Durchmesser geschnitten. Nun wird mit dem Zaubermlere ein Kreis im Abstand von 1 cm um das Loch gemalt. Ein ca. 3 cm breiter Filterpapierstreifen wird zu einem Docht gerollt und in das Loch im Rundfilter geschoben. Anschließend wird der Rundfilter mit Docht in eine mit etwas Wasser befüllte Petrischale gestellt, sodass der Docht, aber nicht das Filterpapier, im Wasser steht. Nach ca. 15 min werden der Rundfilter vom Docht genommen und das Filterpapier mit einem Fön getrocknet.

Nun werden 1–2 Spatelspitzen Natriumsulfit in 10 mL Wasser gelöst. Ein mit dieser Lösung getränktes Wattestäbchen wird sodann benutzt, um die Hälfte des Papierchromatogramms mit der Lösung zu benetzen.

**Beobachtung:**

Das Wasser trennt die Farbstoffe auf dem Filterpapier auf. Es entstehen mehrere einfarbige

Ringe. Die Natriumsulfit-Lösung verändert oder löscht die Farbe mancher, aber nicht aller Ringe.

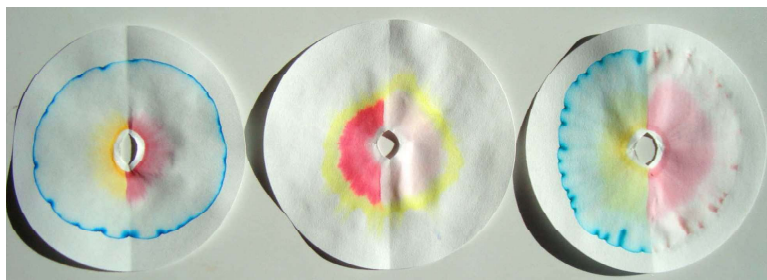


Abbildung 4.7.: Papierchromatogramme einiger Zaubermaler (rechte Hälfte jeweils benetzt mit Natriumsulfit-Lösung)

### **Deutung im Erkenntnisprozess:**

Einige Farbstoffe in den Zaubermaler zeigen durch den hohen pH-Wert des ‚Magic Pen‘ eine Farbveränderung, andere reagieren mit den Sulfiten unter Farbverlust und wiederum andere sind gegenüber beiden Einflüssen stabil im Sinne des Erhalts ihrer Farbe. Die Farbmischung der Einzelfarben des Papierchromatogramms *vor* der Benetzung mit Sulfit-Lösung ergibt die ursprüngliche Farbe des Zauberstifts (die Farbe des Stiftschafts); die Farbmischung der Einzelfarben *nach* Benetzung mit Sulfit-Lösung ergibt die Farbe des Stifts nach dem Übermalen mit dem ‚Magic Pen‘ (die Farbe der Kappe).

---

Die rückwärtige Zuordnung der zur Hälfte benetzten Chromatogramme aus Experiment 6 bietet eine interessante kompetenzorientierte Aufgabe, die zugleich als Lernkontrolle dienen kann. Die Schüler müssen hierfür ihr erarbeitetes Wissen über die Wirkungsweise des ‚Magic Pen‘ sowie ihr Wissen über Farbmischungen anwenden, um anschließend in einer logischen Schlussfolgerung den entsprechenden Zaubermaler einem Chromatogramm zuordnen zu können.



### 4.3.4. Herstellung von Zaubermalern

Im dritten Teil des Unterrichtskonzepts sollen die Schüler ihr Wissen über Funktionsweise und Aufbau der Zaubermaler und des ‚Magic Pen‘ nutzen, um eigene Zaubermaler herzustellen. Um diese Aufgabe besonders reizvoll zu gestalten, wäre es für die Schüler hilfreich zu wissen, welche Farbstoffe auf welche Art und Weise unter der Wirkung des ‚Magic Pen‘ reagieren. Die grundlegende Idee ist, Farbstoffe so miteinander zu kombinieren, dass möglichst signalstarke Farbwechsel erzielt werden. Die genauen Reaktionen der einzelnen Farbstoffe mit einer alkalischen Natriumsulfit-Lösung können in einem kurzen Reagenzglasvorversuch untersucht werden. Doch auch eine Betrachtung des Aufbaus der Farbstoffmoleküle legt den Schülern Vermutungen nahe, wie die Farbstoffe mit der ‚Magic Pen‘-Lösung reagieren werden. So reagieren viele Triphenylmethan (TPM)-Farbstoffe mit Sulfit-Lösungen zu einer farblosen Lösung, da Sulfitionen in der Lage sind, am zentralen C-Atom der TPM-Farbstoffe anzulagern (Abb. 4.8).

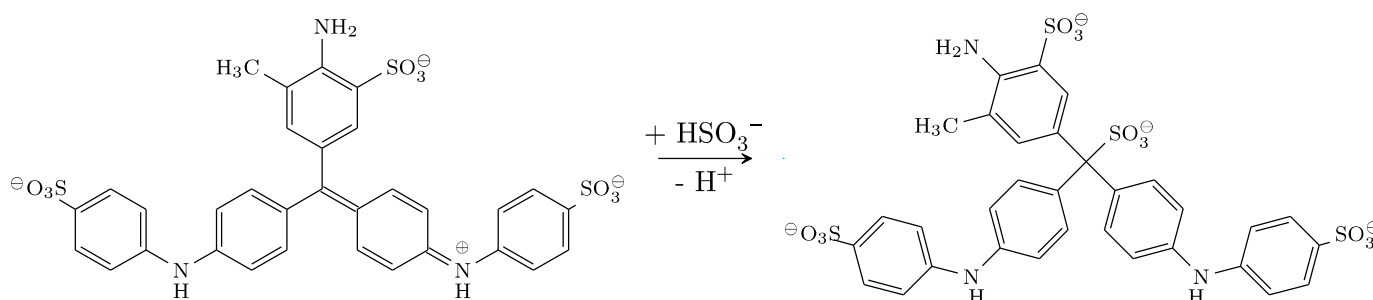


Abbildung 4.8.: Anlagerung eines Sulfitions am zentralen C-Atoms eines TPM-Farbstoffes (hier Wasserblau)

Dagegen reagieren viele Azofarbstoffe mit einer Farbveränderung unter der Wirkung des ‚Magic Pen‘, da die stark elektronegative Azobrücke oftmals pH-abhängig protoniert oder deprotoniert vorliegt, was großen Einfluss auf die Farbe des Moleküls hat (vgl. Kap. 3.3). Experiment 7 zeigt eine praktikable Anleitung zur Herstellung eigener Zaubermaler anhand dreier Beispiele. Prinzipiell sind auch andere Farbstoffkombinationen möglich. Es gilt lediglich zu beachten, dass nicht alle eingesetzten Farbstoffe unter der Wirkung des ‚Magic Pen‘ in den farblosen Zustand überführt werden, um tatsächlich einen Farbwechsel zu erzielen.

**Experiment 7: Herstellung eigener Zaubermaler****Geräte und Chemikalien:**

Waage, Spatel, Schnappdeckelgläser (eins je Stift, Höhe 4.5 cm, Durchmesser 2 cm), didago®-Fasermaler (oder andere Filzstifte mit herausnehmbaren Tintenspeichern), zwei 50-mL-Bechergläser, 25-mL-Standzylinder

Ethylenglycol, Lösungsvermittler LV41, Zitronensäure, Acid Fuchsin (CI: 42685), Pyranin (CI: 59040), Methylblau (CI: 42780), Gelborange S (CI: 15985), Phenolrot, ‚Magic Pen‘, Wasser

**Gefahr und Sicherheit:**

Ethylenglycol wirkt gesundheitsschädlich bei Verschlucken. Zitronensäure verursacht schwere Augenreizung.

**Durchführung:**

Zunächst werden den herkömmlichen Fasermalern die Minen entnommen und gereinigt. Im Idealfall werden die Maler hierzu schadenfrei am hinteren Ende geöffnet und die Minen anschließend unter fließendem Wasser ausgespült. Dieser Prozess kann optimiert werden, indem ein Schlauch am Wasserhahn angebracht wird, dessen anderes Ende über die Mine gestülpt wird. Auf die Art und Weise wird das Wasser durch den Tintenspeicher mit erhöhtem Druck geführt, was den Reinigungsprozess beschleunigt. (Abb. 4.9)

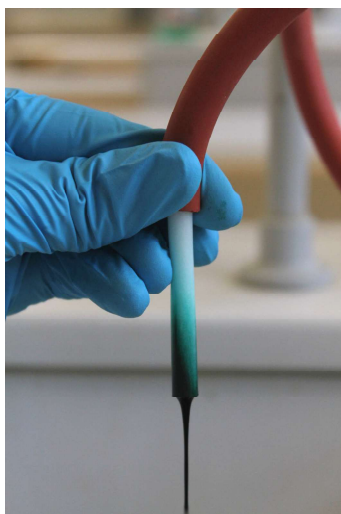


Abbildung 4.9.: Reinigung des Tintenspeichers eines Fasermalers

Die Spitzen der Fasermaler werden durch die hintere Öffnung des Schafts mit Wasser gespült. Die Tintenspeicher werden durch Ausdrücken von Wasser befreit und die leeren Hüllen werden beiseite gelegt.

In einem 50 mL-Becherglas werden 2.1 g Ethylenglycol und 4.2 g Lösungsvermittler gemischt (Lösung 1). In einem weiteren 50 mL-Becherglas werden 0.45 g Zitronensäure in 9 mL Wasser gelöst (Lösung 2). Nun wird langsam und unter ständigem Rühren Lösung 2 zu Lösung 1 gegeben. Gegebenenfalls kann es zur Schaumbildung kommen. In diesem Fall kann die gewonnene Lösung erst nach Schaumrückbildung weiter verwendet werden. Dieser Ansatz reicht für drei magische Stifte.

In drei Schnappdeckelgläsern werden folgende Farbmischungen angesetzt:

1. Glas 1: 27 mg Acid Fuchsin und 50 mg Pyranin (Stift 1)
2. Glas 2: 45 mg Brillantgelb und 38 mg Phenolrot (Stift 2)
3. Glas 3: 30 mg Methylblau und 46 mg Gelborange S (Stift 3)

In die Schnappdeckelgläser werden 2 mL der hergestellten Lösung gegeben und durch kräftiges Schütteln mit den Farbstoffen vermischt. Nun wird der gesäuberte Tintenspeicher für ca. 20–30 min in das Schnappdeckelglas gestellt. Hierbei ist zu beachten, dass der Tintenspeicher

nicht vollständig getrocknet wurde, da dies zu schlechten Ergebnissen führt.



(a) Stift 1



(b) Stift 2



(c) Stift 3

Abbildung 4.10.: Befüllung der gereinigten Tintenspeicher mit den Farbstofflösungen

Ein Stück Filterpapier oder Küchenrolle, das auf das obere Ende der Tintenspeicher aufgedrückt wird, beschleunigt die Aufnahme der Farbstofflösung. Eine noch schnellere Möglichkeit bietet das Aufstülpen eines an einer Wasserstrahlpumpe angeschlossenen Vakuumschlauchs. Alternativ kann der Unterdruck auch durch eine Spritze, die mit dem Ende des Tintenspeichers verbunden ist, erzeugt werden. (Abb. 4.11)

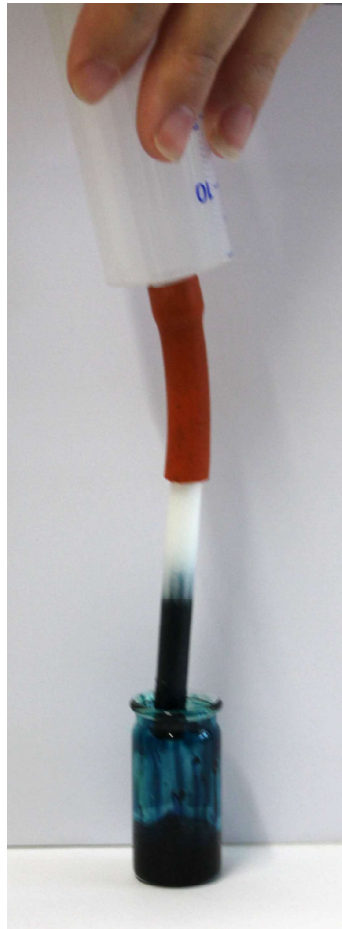


Abbildung 4.11.: Befüllung der gereinigten Tintenspeicher mit Hilfe einer Spritze

Sobald der Tintenspeicher befüllt ist, kann er in die Fasermalerhülse eingesetzt werden. Die gereinigte Spitze des Fasermalers wird ebenfalls kurz in die Farbstofflösung gestellt. Somit ist der selbst hergestellte Zaubermaler sofort einsetzbar.

**Beobachtung:**

Die selbst hergestellten Fasermaler erzielen beim Übermalen mit dem ‚Magic Pen‘ folgende Farbwechsel.

1. Stift 1: Pink → Gelb-fluoreszierend
2. Stift 2: Gelb → Pink-Rot
3. Stift 3: Grau-Braun → Orange

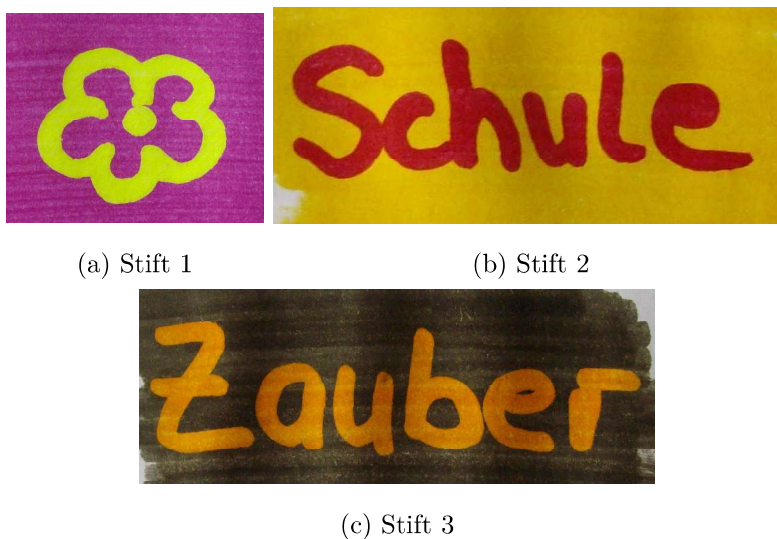


Abbildung 4.12.: Die Farbwechsel der selbst hergestellten Zaubermaler

**Erklärung:**

Wie bereits erwähnt reagieren die Farbstoffe mit den Inhaltsstoffen des ‚Magic Pen‘ unterschiedlich. Das Farbgemisch in Stift 1 besteht aus dem TPM-Farbstoff Acid Fuchsin und Pyranin (Abb. 4.13a und 4.13b). Durch die Sulfitionen und deren Anlagerung am zentralen C-Atom wird Acid Fuchsin in den farblosen Zustand überführt (vgl. Abb. 4.8). Pyranin ist im Sauren und Neutralen farblos bis schwach gelb. Erst durch Deprotonierung der Hydroxygruppe im Alkalischen nimmt es eine gelb-fluoreszierende Farbe an. Insgesamt wird also beim Übermalen dieses Stifts mit einem ‚Magic Pen‘ die Farbe Pink des Acid Fuchsins gelöscht und die gelbe Farbe wird durch die Deprotonierung des Pyranins hervorgerufen.

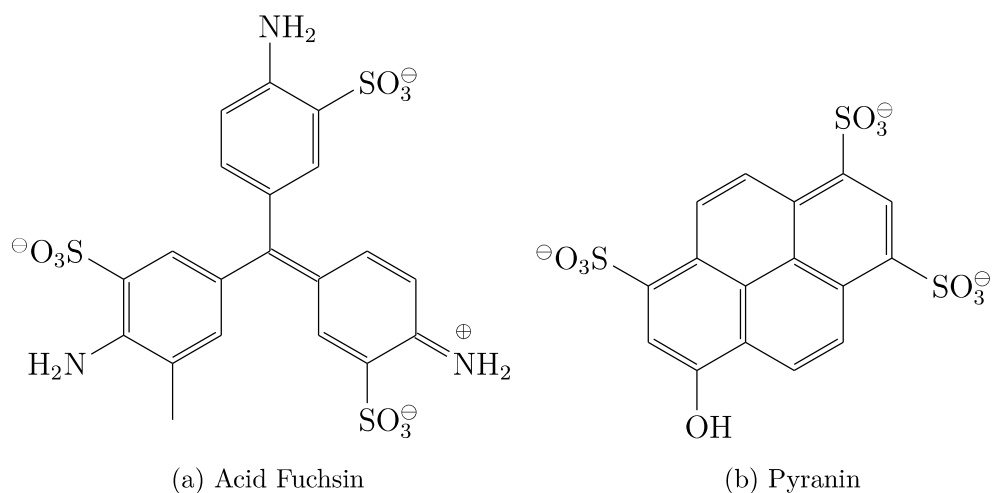


Abbildung 4.13.: Farbstoffe von Stift 1

In Stift 2 ist der Azofarbstoff Brillantgelb (Abb. 4.14b) mit dem TPM-Farbstoff Phenolrot (Abb. 4.14a) gemischt. Letzterer hat die Besonderheit gegenüber der Anlagerung von Sulfitionen stabil zu sein. Er verändert aber seine Farbe durch den erhöhten pH-Wert und die daraus folgende Deprotonierung der OH-Gruppe von Gelb zu Rotviolett. Der Farbstoff Brillantgelb zeigt das gleiche Reaktionsverhalten und den gleichen Farbübergang. Theoretisch wäre also einer dieser beiden Farbstoffe für den beobachteten Farbwechsel ausreichend gewesen. Die Farbmischung ergibt jedoch strahlendere Farben, wie sich experimentell herausgestellt hat.

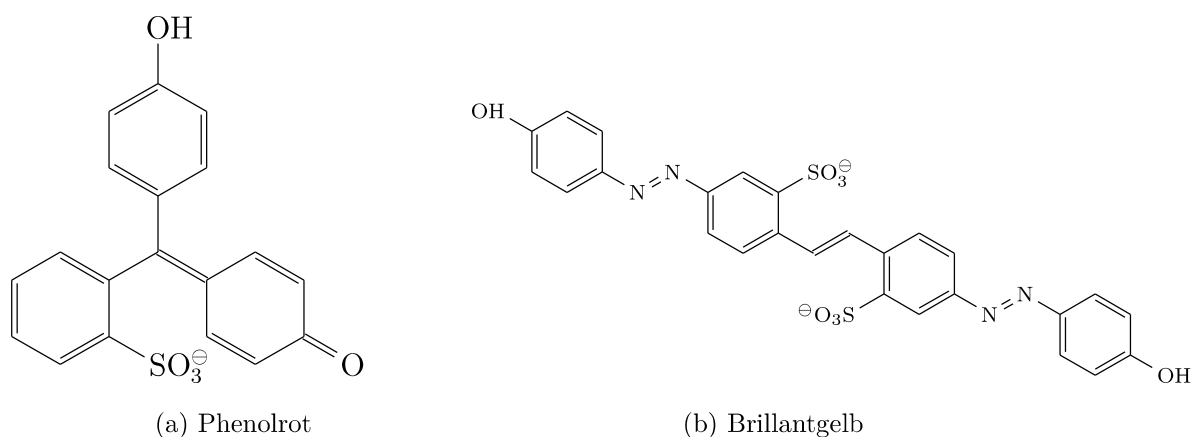


Abbildung 4.14.: Farbstoffe von Stift 2

Stift 3 besteht erneut aus einer Mischung eines TPM-Farbstoffes (Methylblau, Abb. 4.15a) und eines Azofarbstoffes (Gelborange S, Abb. 4.15b). Letzterer ist gegenüber den Inhaltsstoffen des ‚Magic Pen‘ inert und bleibt orange, wohingegen Methylblau in den farblosen Zustand übergeführt wird.

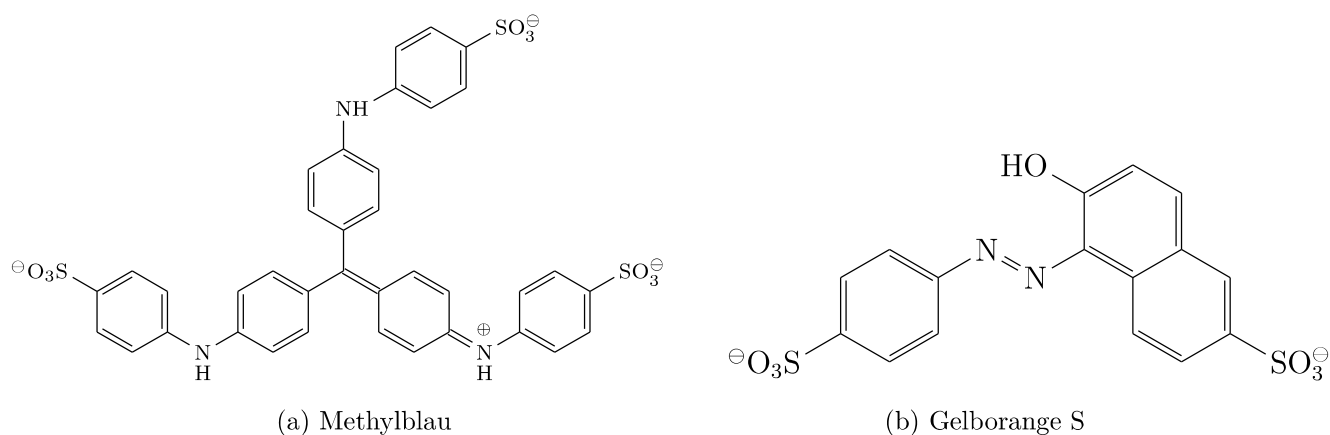


Abbildung 4.15.: Farbstoffe von Stift 3

Kapitel 4.4 bietet Möglichkeiten und Experimente, das Unterrichtskonzept je nach Leistungsniveau der Schüler und verfügbarem Zeitrahmen zu erweitern.

## 4.4. Ergänzungsmöglichkeiten / weitere Experimente

### 4.4.1. Identifizierung einiger Farbstoffe

Im Anschluss an die Erkenntnis, dass die Zaubermaler ein Gemisch von Farbstoffen enthalten, sowie deren Reaktionen mit den Inhaltsstoffen des ‚Magic Pen‘ (Exp. 6) können die Schüler die Analyse der Zaubermaler durch die Identifikation einzelner Farbstoffe vertiefen.



**Experiment 8: Identifizierung des gelben Farbstoffs im Carioca®-Zaubermaler mit Farbwechsel Blau  $\longrightarrow$  Gelb (Teil 1)****Geräte und Chemikalien:**

Petrischalen, langsam und schnell filternde Rundfilter (z. B. Whatman Nr.1;  $d = 125$  mm und Rotilabo-Rundfilter  $d = 125$  mm, Filtrationszeit 180 s), 50-mL-Erlenmeyerkolben, Spatel, Schere, Fön

Natriumsulfit, Zaubermaler mit Farbwechsel Blau  $\longrightarrow$  Gelb, Wasser

**Gefahr und Sicherheit:**

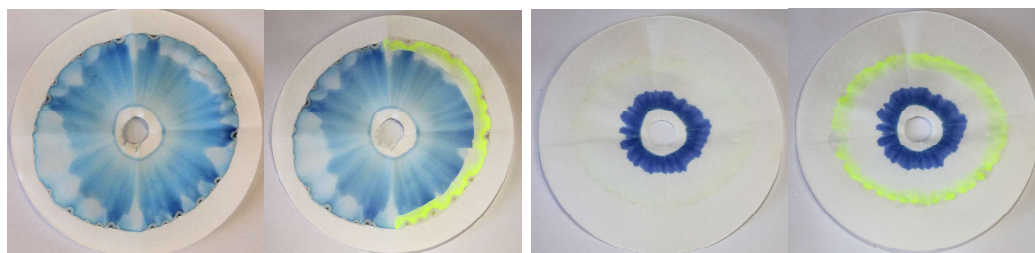
Keine Risiken.

**Durchführung:**

Analog zu Experiment 6 werden Papierchromatogramme des Zaubermalers mit einem schnell laufenden und zwei langsam laufenden Filterpapieren erstellt. Anschließend werden diese mit Natriumsulfit-Lösung benetzt.

**Beobachtung:**

Die gelbe Farbe taucht erst nach Benetzung mit der Natriumsulfit-Lösung auf. Dies ist zum einen daran zu erkennen, dass die Ausgangsfarbe des Stifts nicht Grün (Mischfarbe aus Blau und Gelb), sondern Blau ist, und zum anderen an den Papierchromatogrammen mit den langsam laufenden Rundfiltern. Hier trennen sich die Farben besser auf.



(a) schnell laufendes Filterpapier vor (links) und nach (rechts) Übermalen mit dem ‚Magic Pen‘ (b) langsam laufendes Filterpapier vor (links) und nach (rechts) Übermalen mit dem ‚Magic Pen‘

Abbildung 4.16.: Papierchromatogramme des Zaubermalers mit Farbwechsel Blau  $\longrightarrow$  Gelb auf unterschiedlichen Filterpapieren

#### Deutung im Erkenntnisprozess:

Der gelbe Farbstoff des Zaubermalers ist nur unter Einwirkung des ‚Magic Pen‘ oder einer alkalischen Natriumsulfit-Lösung gelb. Zuvor ist er farblos.

Die Schüler können schlussfolgern, dass der Übergang vom farblosen in den gelben Zustand des unbekannten Farbstoffes auf den erhöhten pH-Wert zurückzuführen ist. Im nächsten Schritt werden die Schüler diese Eigenschaft bestätigen und versuchen, den betreffenden Farbstoff durch einen Vergleich des chemischen Verhaltens mit anderen Farbstoffen zu identifizieren. Je nach Zeitrahmen kann die Lehrkraft den Schülern verschiedene gelbe Farbstoffe zum Vergleich geben oder durch direkten Hinweis die Schüler zum Vergleich mit Pyranin auffordern.

**Experiment 9: Identifizierung des gelben Farbstoffs im Carioca<sup>®</sup>-Zaubermaler mit Farbwechsel Blau  $\longrightarrow$  Gelb (Teil 2)****Geräte und Chemikalien:**

Reagenzglas, Schere, 10-mL-Messpipette, 25-mL-Becherglas

2 Papierchromatogramme (langsam laufendes Filterpapier aus Experiment 8), Salzsäure ( $c = 1 \text{ mol/L}$ ), Natronlauge ( $c = 1 \text{ mol/L}$ ), ‚Magic Pen‘, Wasser

**Gefahr und Sicherheit:**

Keine Risiken.

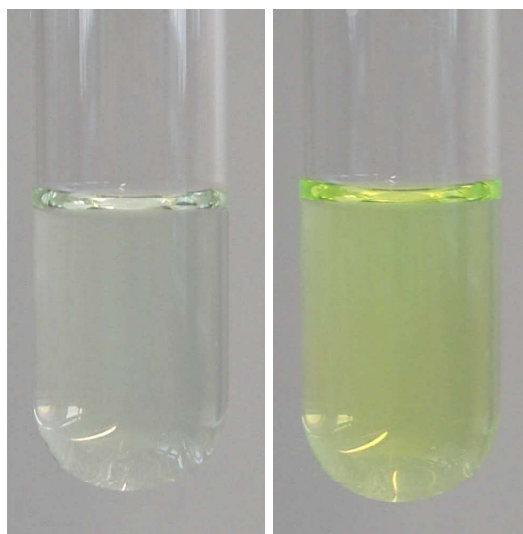
**Durchführung:**

Die Papierchromatogramme werden mit einem ‚Magic Pen‘ so bemalt, dass der gelbe Ring deutlich und vollständig sichtbar wird. Anschließend wird der nun sichtbare, gelbe Ring aus dem Papierchromatogramm herausgeschnitten und in Einzelteilen in das Becherglas gegeben. Die Papierschnipsel werden mit 5 mL Wasser überdeckt und für 2 min im Wasser geschwenkt. Die hierdurch gelb gefärbte wässrige Lösung wird in ein Reagenzglas gegeben und mit 5 Tropfen der Salzsäure versetzt. Anschließend werden 5-10 Tropfen der Natronlauge zugegeben.

Parallel wird ein Reagenzglas mit 5 mL einer wässrigen Pyranin-Lösung befüllt. Auch in dieses Reagenzglas werden erst 5 Tropfen der Salzsäure und anschließend 10 Tropfen der Natronlauge zugegeben.

**Beobachtung:**

In beiden Fällen entfärbt sich die Lösung bei Zugabe der Salzsäure. Durch die Zugabe der Natronlauge kehrt die gelbe Farbe zurück.



(a) Sauer

(b) Alkalisch

Abbildung 4.17.: Pyranin-Lösungen

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

Im Zaubermaler der Firma Carioca<sup>®</sup> mit Farbwechsel Blau  $\longrightarrow$  Gelb wird Pyranin verwendet.

**Erklärung:**

Pyranin ist im Sauren farblos. Erst die Deprotonierung der phenolischen OH-Gruppe im Alkalischen (Abb. 4.18) führt zur Gelbfärbung der Lösung.

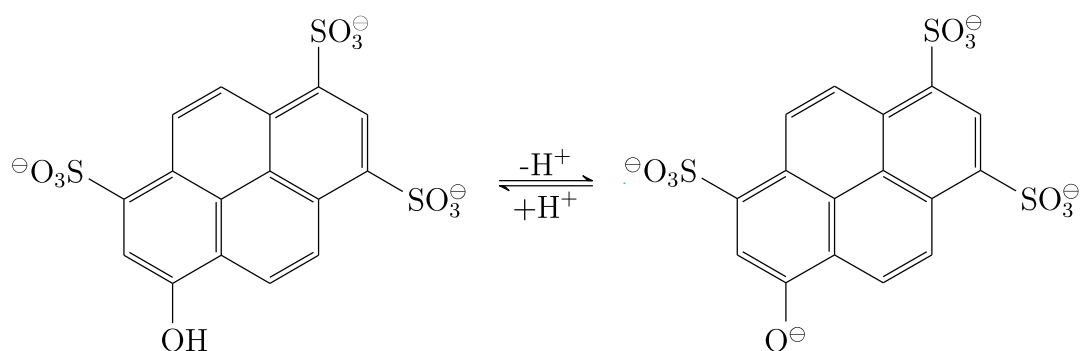
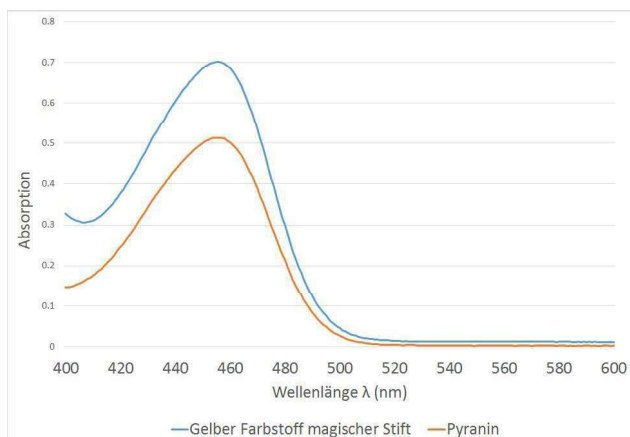
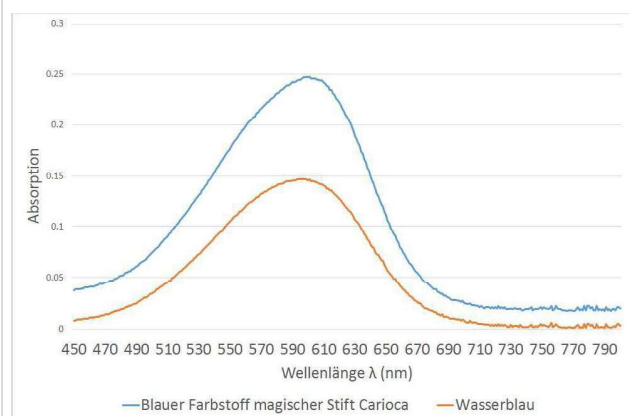


Abbildung 4.18.: Reversible Deprotonierung des Pyranins

Die Identifizierung kann durch Aufnahme von Absorptionsspektren erweitert werden. Bei  $\text{pH} = 9$  haben beide Farbstofflösungen ein Absorptionsmaximum von ca. 455 nm. (Abb. 4.19a) Auch der blaue Farbstoff des Zaubermalers kann mit Hilfe von Absorptionsspektren als Wasserblau (Absorptionsmaximum ca. 596 nm) identifiziert werden. (Abb. 4.19b)



(a) Gelber Farbstoff des Stifts und Pyranin



(b) Blauer Farbstoff des Stifts und Wasserblau

Abbildung 4.19.: Absorptionsspektren der Farbstoffe des Zaubermalers mit Farbwechsel Blau  $\longrightarrow$  Gelb

Der Zaubermaler der Firma Herlitz® mit Farbwechsel Grün  $\longrightarrow$  Lila bietet ebenfalls gute Möglichkeiten, die Identifikation von Farbstoffen in das Unterrichtskonzept einzubinden.

**Experiment 10: Identifikation des blauen Farbstoffs im grünen Herlitz®-Zaubermaler mit lilafarbenen Ring****Geräte und Chemikalien:**

Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Schere, Spatel, 10-mL-Messpipette, 25-mL-Becherglas  
Papierchromatogramm des Herlitz®-Zaubermalers (erstellt wie in Experiment 6, jedoch ohne  
Einwirkung von ‚Magic Pen‘ oder Natriumsulfit-Lösung), Salzsäure ( $c = 1 \text{ mol/L}$ ), Natronlauge  
( $c = 1 \text{ mol/L}$ ), Patentblau V, Brillantblau FCF, Wasser

**Gefahr und Sicherheit:**

Keine Risiken.

**Durchführung:**

Aus dem Chromatogramm wird der blau gefärbte Bereich herausgeschnitten und in Einzel-  
teilen in ein Becherglas gegeben. Die Papierschnipsel werden mit 5 mL Wasser bedeckt und  
geschwenkt. Die blaue Lösung wird in ein Reagenzglas gegeben und mit wenigen Tropfen der  
Salzsäure angesäuert. Anschließend werden mehrere Tropfen der Natronlauge zugegeben.

Parallel wird jeweils eine Brillantblau FCF-Lösung und eine Patentblau V-Lösung erst ange-  
säuert und anschließend alkalisch gemacht.

**Beobachtung:**

Alle drei Farblösungen zeigen ein ähnliches Reaktionsverhalten. Sie ändern beim Ansäuern ihre  
Farbe reversibel zu Grün.

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

Beim blauen Farbstoff im Zaubermaler handelt es sich entweder um Brillantblau FCF oder  
Patentblau V.

---

Für eine endgültige Festlegung auf einen der beiden Farbstoffe können Absorptionsspektren zu  
Hilfe genommen werden. Die neutralen Lösungen des blauen Farbstoffs aus dem Zaubermaler  
und Brillantblau FCF zeigen identische Absorptionsmaxima bei 630 nm. Das Absorptionsma-

ximum einer Patentblau V-Lösung liegt dahingegen bei 639 nm.(Abb. 4.20)

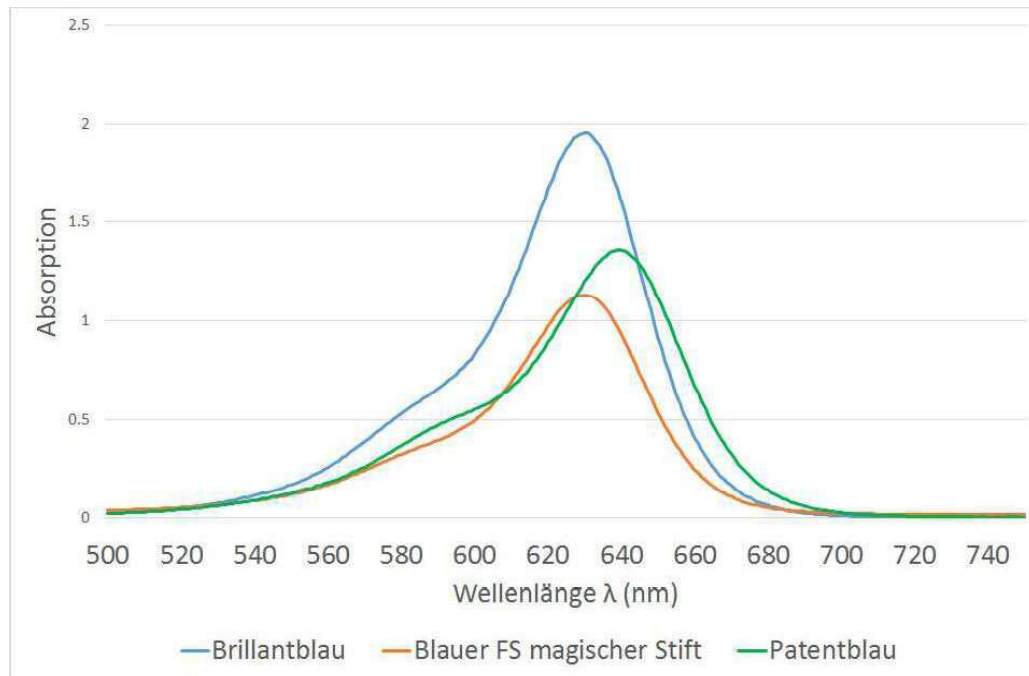


Abbildung 4.20.: Absorptionsspektren einer Lösung des blauen Farbstoffes aus dem Zauber-  
maler mit Farbwechsel Grün → Lila und einer Wasserblau-Lösung

Der zweite Farbstoff des grünen Herlitz®-Zaubermalers mit lila Ring wechselt unter den Ein-  
flüssen des ‚Magic Pen‘ die Farbe von Gelb zu Rot. Auch hier können die Schüler Vergleichs-  
untersuchungen zur Identifikation anstellen.

**Experiment 11: Identifikation des gelben Farbstoffs im grünen Herlitz®-Zaubermaler mit lila Ring****Geräte und Chemikalien:**

Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Spatel

Papierchromatogramme des Herlitz®-Zaubermalers (erstellt wie in Exp. 6), diverse Pufferlösungen (darunter  $\text{pH} = 7 - 9$ ), Brillantgelb

**Gefahr und Sicherheit:**

Keine Risiken.

**Durchführung:**

Die unterschiedlichen Pufferlösungen werden in separate Bereiche des gelben Rings auf das Chromatogramm aufgetropft.

Parallel werden wenige Kristalle Brillantgelb in jeweils 2 mL der Pufferlösungen gelöst.

**Beobachtung:**

Der Bereich, der mit der Pufferlösung  $\text{pH} = 8$  benetzt wurde, färbt sich orange; die Bereiche ab  $\text{pH} = 9$  färben sich rot. Die Brillantgelb-Lösungen verhalten sich identisch.





(a) Pufferlösungen auf Papierchromatogramm auf- (b) Brillantgelb-Lösungen ( $pH = 7,8,9$  von links  
getropft ( $pH = 7,8,9$  von links nach rechts nach rechts

Abbildung 4.21.: Brillantgelb bei unterschiedlichen pH-Werten

#### Deutung im Erkenntnisprozess:

Beim gelben Farbstoff im Zaubermaler handelt es sich um Brillantgelb. Der Umschlagsbereich des Farbstoffes liegt im pH-Bereich 7 – 9.

#### **4.4.2. Herstellung eines ‚Magic Pen‘**

Neben selbst hergestellten Zaubermalern (Exp. 7) besteht für die Schüler die Möglichkeit, einen eigenen ‚Magic Pen‘ zu entwickeln.

**Experiment 12: Herstellung eines ‚Magic Pen‘****Geräte und Chemikalien:**

Waage, Spatel, Schnappdeckelglas (Höhe 4.5 cm, Durchmesser 2 cm), didago<sup>®</sup>-Fasermaler (oder andere Filzstifte mit entfernbaren Tintenspeichern)

Ethylenglycol, Kaliumcarbonat, Natriumsulfit, Wasser

**Gefahr und Sicherheit:**

Ethylenglycol wirkt gesundheitsschädlich bei Verschlucken.

**Durchführung:**

Die Mine und die Spitze des herkömmlichen Fasermalers werden wie in Experiment 7 entnommen, gereinigt und zur Trocknung beiseite gelegt. In einem Schnappdeckelglas werden 0.25 g Kaliumcarbonat, 0.3 g Natriumsulfit, 1.5 mL Wasser und 0.25 g Ethylenglycol gemischt. Der gereinigte Tintenspeicher wird in das Schnappdeckelglas gestellt. Nach ca. 30 min wird die Mine zurück in die Hülse gesetzt und der Fasermaler wieder verschlossen. Anschließend werden mit dem Fasermaler die Farben der Zaubermaler übermalt.

**Beobachtung:**

Der selbst hergestellte Fasermaler verursacht die selben Farbwechsel wie der ‚Magic Pen‘.

## 4.5. Fächerübergreifende Möglichkeiten

### 4.5.1. Physik

Das Unterrichtskonzept kann gut mit den physikalischen Themen der ‚elektromagnetischen Welle‘ und der Optik allgemein verknüpft werden. Da die Schüler gegebenenfalls die ein oder andere Molekülstruktur von Farbstoffen kennenlernen, kann davon ausgehend gut zu den Energieniveaus der elektromagnetischen Wellen sichtbaren Lichts übergeleitet werden.

### **4.5.2. Kunst**

Die Kenntnis der Inhaltsstoffe sowohl der Zaubermaler als auch des ‚Magic Pen‘ können die Schüler nutzen, um Materialien mithilfe anderer Farbträger als der Fasermaler (Sprühflaschen, Pinsel etc.) kunstvoll zu gestalten. Die Fähigkeit, gewisse Farbwechsel zu prognostizieren, erlaubt gezielte Gestaltungsmöglichkeiten.

## 5. Die ‚bärchenstarke‘ Reduktion

### 5.1. Motivation

Azofarbstoffe werden, wie in Kapitel 3.3 erwähnt, vielseitig eingesetzt. Ein kleiner Teil von ihnen ist für Lebensmittel zugelassen und findet dort Anwendung. Hier begegnen sie Schülern am ehesten in ihrem Alltag. Im folgenden Unterrichtskonzept lernen die Schüler einen solchen Azofarbstoff kennen. Brillantschwarz BN (BS) wird unter der Nummer E 151 als zulässiger Lebensmittelzusatzstoff geführt und bietet interessante, typische Eigenschaften für Azofarbstoffe, die im Rahmen dieses Unterrichtskonzepts von den Schülern selbstständig erarbeitet werden können. Auch Fragestellung und Problem werden hier von den Schülern eigenständig erkannt.

### 5.2. Vorbereitungen

Im folgenden Unterrichtskonzept sind Sicherheitshinweise zu den Experimenten nur in gesonderten Fällen explizit vermerkt. Das Tragen von Schutzkittel und Schutzbrille sowie eine grundlegende Sicherheitsunterweisung der Schüler vor Beginn der Durchführung wird vorausgesetzt.

#### 5.2.1. Lernvoraussetzungen der Schüler

Die Schüler sollten grundlegende Kenntnisse der Säure-Base-Chemie (Indikatoren etc.) und des Aufbaus organischer Moleküle haben. Kenntnisse über die Voraussetzungen organischer Moleküle für die Absorption elektromagnetischer Wellen aus dem Bereich des sichtbaren Lichts

(vgl. Kapitel 3.2.3) sind hilfreich für Verständnis und Durchführung dieses Unterrichtskonzepts, jedoch nicht zwingend erforderlich.

### 5.2.2. Herstellung von BS-Bärchen

Für die Durchführung wird eine Packung Gummibärchen (oder ähnliche Süßwaren) benötigt. Dabei muss mindestens eine Sorte mit BS (E151) gefärbt sein. Leider sind diese Gummibärchen eher selten und oft nur als Saisonware (Halloween etc.) erhältlich. Sollten im Handel keine BS-Bärchen verfügbar sein, besteht die Möglichkeit, diese im Vorfeld des Unterrichtskonzepts selbst herzustellen. Eine einfache und schnell durchführbare Anleitung hierzu bietet Experiment 1.

|   |
|---|
| <b>Experiment 1: Herstellung von BS-Bärchen</b> |
|---|

#### Geräte und Chemikalien:

Heizplatte, 50-mL-Becherglas, Glasstab, Backblech, Zahnstocher

Brillantschwarz, farblose Gummibärchen (z. B. Bären-Company<sup>®</sup>, Ananas Minibärchen, Art.-Nr.: 110206023 [41]), Wasser, Speisestärke

#### Gefahr und Sicherheit:

Keine Risiken.

#### Durchführung:

Zunächst werden in ein Stärkebett (ca. 1.5 cm Höhe) auf einem Backblech Bärchenformen eingedrückt. Hierzu wird ein Gummibär auf einen Zahnstocher gespießt und in das Stärkebett eingedrückt.

Parallel werden in ein Becherglas mit 5 mL Wasser sukzessive 17 farblose Gummibärchen (ca. 19 g) unter Erwärmen und ständigem Rühren gegeben. Anschließend werden der flüssigen Masse 0.02 g Brillantschwarz beigemischt. Nun wird die Masse in die Bärchenformen des Stärkebetts

gegossen. Die Masse erkaltet sehr schnell und härtet dabei aus. Das Becherglas kann kurz auf die Heizplatte gestellt werden, um die Masse erneut zu verflüssigen.

Nach ca. 2 Stunden sind die BS-Gummibärchen fertig ausgehärtet. Aufgrund ihrer hohen Kleeigenschaften empfiehlt es sich, die Bärchen vor der Entnahme aus dem Stärkebett von allen Seiten mit Stärke einzustäuben.



Abbildung 5.1.: Selbst hergestelltes BS-Bärchen (rechts) aus farblosen Gummibärchen (links)

---

Experiment 1 ist auch mit allen anderen farblosen Gummibärchen durchführbar. Als Süßungsmittel sollte jedoch Glucose oder Glucosesirup verwendet worden sein, um ihre Anwendbarkeit im folgenden Unterrichtskonzept zu gewährleisten.

## 5.3. Didaktische Umsetzung

### 5.3.1. Einstieg

Um die Schüler für das Thema ‚Farbstoffe‘ zu sensibilisieren, beginnt das Unterrichtskonzept bei Farbstoffen, die den Schülern bereits bekannt sind: Säure-Base-Indikatoren. Neben den standardmäßig eingesetzten Indikatoren Bromthymolblau und Phenolphthalein haben die Schüler beim Thema Säure-Base-Chemie gegebenenfalls darüber hinaus den Radieschen- [42] oder Rotkohllindikator[43] kennengelernt. Daneben existieren zahlreiche weitere Alltagsgegenstände, deren Farbstoffe sich als pH-Indikatoren eignen.[44]

Um mögliche Kandidaten für pH-Indikatoren aus Alltagsgegenständen zu erhalten, führen die Schüler Experiment 2 aus.

#### Experiment 2: Test diverser Alltagsgegenstände auf ihre Verwendung als pH-Indikatoren

##### Geräte und Chemikalien:

Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Bunsenbrenner, Reagenzglashalter, Tropfpipetten  
Natronlauge ( $c = 1 \text{ mol/L}$ ), Salzsäure ( $c = 4 \text{ mol/L}$ ), farbige Alltagsgegenstände (Süßwaren, Malvetee, bunte Getränke etc.; darunter: rote Haribo® Goldbären), Wasser

##### Gefahr und Sicherheit:

Natronlauge und Salzsäure wirken bei Hautkontakt ätzend.

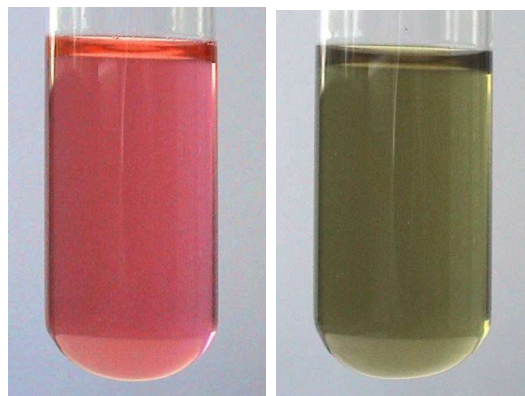
##### Durchführung:

Aus den farbigen Alltagsgegenständen werden ca 5 ml einer wässrigen, farbigen Lösung hergestellt (gegebenenfalls durch leichtes Erwärmen). Anschließend werden 0.5 mL Natronlauge gefolgt von wenigen Tropfen Salzsäure zugegeben.

##### Beobachtung:

Viele, aber nicht alle farbigen Lösungen ändern reversibel ihre Farbe bei unterschiedlichen pH-

Werten.



(a) pH = 1

(b) pH = 11

Abbildung 5.2.: Lösung eines roten Haribo®-Gummibärchens bei unterschiedlichen pH-Werten

### **Deutung im Erkenntnisprozess:**

Zahlreiche Farbstoffe in Alltagsgegenständen eignen sich als Säure-Base-Indikatoren.

### **Erklärung:**

Der pH-Wert einer Farbstofflösung kann Einfluss auf die Elektronendichte des aromatischen  $\pi$ -Systems (‚Chromophor‘, vgl. Kapitel 3) des Farbstoffes haben. So sind beispielsweise die roten Gummibärchen der Firma Haribo® mit Extrakten aus schwarzen Johannisbeeren gefärbt, deren Farbe durch Anthocyane (z. B. Cyanidin, Abb. 5.3) hervorgerufen wird. In diesem Fall können die OH-Gruppen je nach pH-Wert deprotoniert werden, was zu einer Änderung der Elektronendichte im Chromophor und somit zu einer Farbveränderung führt.



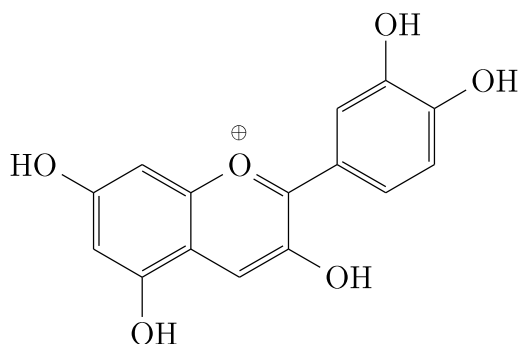


Abbildung 5.3.: Strukturformel von Cyanidin

### 5.3.2. Das BS-Bärchen

Eine verblüffende Beobachtung können die Schüler machen, wenn sie Versuch 2 mit BS-Bärchen durchführen.

|  |
|--|
| <b>Experiment 3: Test eines BS-Bärchens auf Eignung als pH-Indikator</b> |
|--|

#### Geräte und Chemikalien:

Wie in Versuch 2, jedoch mit BS-Bärchen

#### Gefahr und Sicherheit:

Natronlauge und Salzsäure wirken bei Hautkontakt ätzend.

#### Durchführung:

Ein BS-Bärchen wird in 5 mL Wasser unter Erwärmen gelöst (bei den in Versuch 1 hergestellten Bärchen genügen 0.4 g eines Bärchens und 2 mL Wasser). Anschließend werden 0.5 mL Natronlauge zugegeben. Sollte keine Veränderung beobachtbar sein, wird die Lösung erneut

erwärmt. Die nun gelbe Lösung wird mit wenigen Tropfen Salzsäure angesäuert. Anschließend wird erneut Natronlauge bis zur erneuten Verfärbung zugegeben.

**Beobachtung:**

Die Zugabe der Lauge bewirkt bei hoher Temperatur eine langsam ablaufende Verfärbung von Dunkelblau/Lila (je nach Konzentration) zu Gelb. Bei Zugabe der Säure färbt sich die Lösung Pink. Der letzte Farbwechsel ist reversibel.

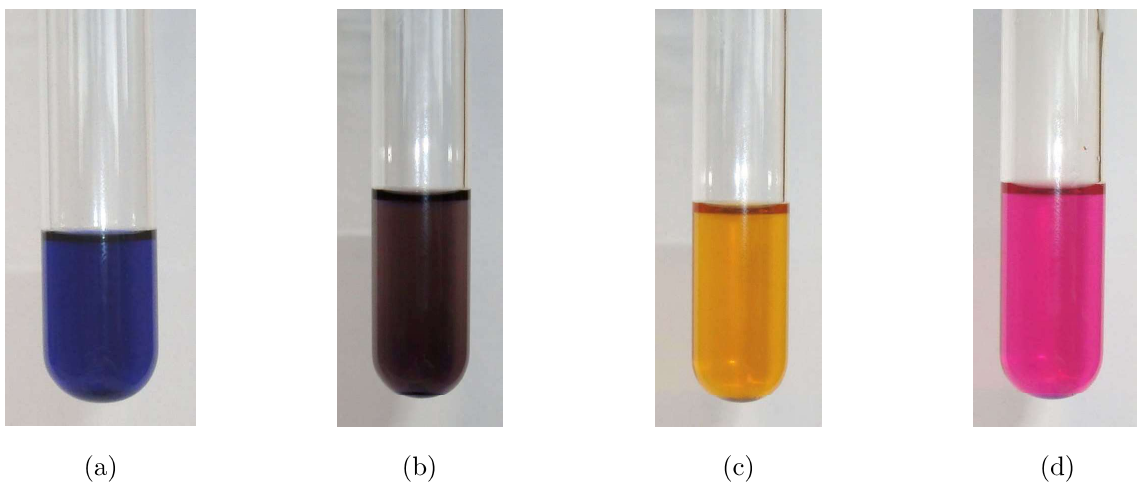


Abbildung 5.4.: BS-Lösung (a) nach Zugabe von Lauge und Erwärmen (b: nach 10 s, c: nach 30 s), d: nach Zugabe der Salzsäure

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

Der Farbstoff der BS-Gummibärchen reagiert unter dem Einfluss von Wärme und Natronlauge. Das Produkt dieser Reaktion ist als Säure-Base-Indikator geeignet.

Dieses Ergebnis weckt die Neugier der Schüler und fordert sie dazu auf, das beobachtete Phänomen zu erforschen.

### 5.3.3. Klärung der beobachteten Farbwechselreaktionen

Ein erster Schritt zur Erforschung des Phänomens ist die Isolierung des Farbstoffes aus dem System ‚Gummibär‘. Dies geschieht am einfachsten mit der Wollfadenmethode (Exp. 4).

#### Experiment 4: Isolierung des Farbstoffes aus den BS-Bärchen (Teil 1)

##### Geräte und Chemikalien:

50-mL-Becherglas, Bunsenbrenner, Dreifuß, Glasstab, 10-mL-Messpipette, Heizplatte

BS-Bärchen, entfettete Wollfäden, Essigsäure ( $c = 1 \text{ mol/L}$ ), Wasser

##### Gefahr und Sicherheit:

Keine Risiken.

##### Durchführung:

9 g der Gummibärchen werden mit 20 mL Wasser in einem Becherglas auf einer Heizplatte unter Erwärmen und Rühren gelöst. Anschließend wird die Lösung mit 5 mL Essigsäure versetzt, der Wollfaden in die Lösung gegeben und die Lösung zum Sieden gebracht. Zur Zeitersparnis kann hier der Bunsenbrenner mit Dreifuß verwendet werden. Anschließend wird die Heizquelle entfernt.

##### Beobachtung:

Die Lösung entfärbt sich und der Wollfaden nimmt eine tiefblaue Farbe an.



Abbildung 5.5.: Gefärbter Wollfaden

**Erklärung:**

Wolle besteht zu einem Großteil aus Keratin. Die Amino ( $-\text{NH}_2$ )-Gruppen dieses Proteins werden durch Essigsäure zu positiv geladenen Ammonium ( $-\text{NH}_3^+$ )-Gruppen, die mit den Sulfonat ( $-\text{SO}_3^-$ )-Gruppen des Brillantschwarz eine in Wasser schwerlösliche Ionenbindung bilden können.

---

Der so erhaltene Wollfaden wird für mindestens 2 min gründlich unter fließendem Wasser gewaschen. Nun gilt es, den mittlerweile isolierten Farbstoff wieder vom Wollfaden zu entfernen.

**Experiment 5: Isolierung des Farbstoffes aus den BS-Bärchen (Teil 2)****Geräte und Chemikalien:**

50 mL-Erlenmeyerkolben, Bunsenbrenner, Dreifuß, Glasstab, 10 mL-Messpipette

Gefärbter Wollfaden aus Experiment 4, Ammoniak-Lösung ( $w = 10\%$ )

**Gefahr und Sicherheit:**

Ammoniak verursacht Verätzungen und kann die Atemwege reizen.

**Durchführung:**

Der Wollfaden wird in einem Erlenmeyerkolben mit 10 mL Ammoniak-Lösung übergossen und die Lösung bis zum Sieden erhitzt. Nach wenigen Minuten wird der Wollfaden aus der Lösung entnommen und die Lösung bei Bedarf auf die gewünschte Farbintensität eingeeengt.

**Beobachtung:**

Der Wollfaden entfärbt sich und die Lösung färbt sich dunkelblau/lila.

**Erklärung:**

Die protonierten Amino-Gruppen des Keratins werden durch die Ammoniak-Lösung wieder deprotoniert und somit die Ionenbindung des Farbstoffs in dem Wollfaden gebrochen.

---

Die so erhaltene, ammoniakalische Farbstofflösung kann nun von den Schülern zu weiteren Untersuchungen verwendet werden. So entdecken sie bei einer Wiederholung von Versuch 3, dass die ursprünglich beobachtete Gelbfärbung bei dieser Farbstoff-Lösung nicht mehr eintritt. Bei dem beobachteten Phänomen ist also neben dem Farbstoff ein weiterer Bestandteil der Gummibärchen Reaktionsteilnehmer. Experiment 6 dient der Erforschung dieses Bestandteils.

**Experiment 6: Erforschung des zweiten Reaktionsteilnehmers****Geräte und Chemikalien:**

Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Reagenzglashalter, Bunsenbrenner

Reine BS-Lösung (z. B. aus Versuch 5), Natronlauge ( $c = 1 \text{ mol/L}$ ), Salzsäure ( $c = 4 \text{ mol/L}$ ), diverse Zutaten der BS-Bärchen (Zitronensäure, Gelatine, Glucose, Zucker etc.)

**Gefahr und Sicherheit:**

Natronlauge und Salzsäure wirken bei Hautkontakt ätzend.

**Durchführung:**

In den Reagenzgläsern werden je 2 mL der BS-Lösung mit einer Spatelspitze bzw. 1 mL einer der weiteren Zutaten versetzt. Anschließend werden in jedes Reagenzglas 0.5 mL Natronlauge zugegeben und die Lösung erwärmt. Sofern sich eine Lösung verfärbt hat, wird sie mit wenigen Tropfen Salzsäure angesäuert.

**Beobachtung:**

Einzig die Zugabe von Glucose bewirkt die Farbänderung wie in Versuch 3.

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

Glucose ist ein Edukt der beobachteten Reaktion in Versuch 3.

---

Diese Information bringt die Schüler auf die nächste Frage: Wie reagiert Glucose mit dem Farbstoff? Gegebenenfalls, beispielsweise aus dem Blue-Bottle-Versuch[45], ist den Schülern bereits bekannt, dass Glucose ein Aldehyd ist und im Alkalischen als Reduktionsmittel wirken kann (siehe Abb. 5.6). Anderenfalls können die Schüler diese Information auch leicht im Internet selbst recherchieren. Sie kommen auf die Hypothese, dass Glucose in der beobachteten Reaktion als Reduktionsmittel fungiert.

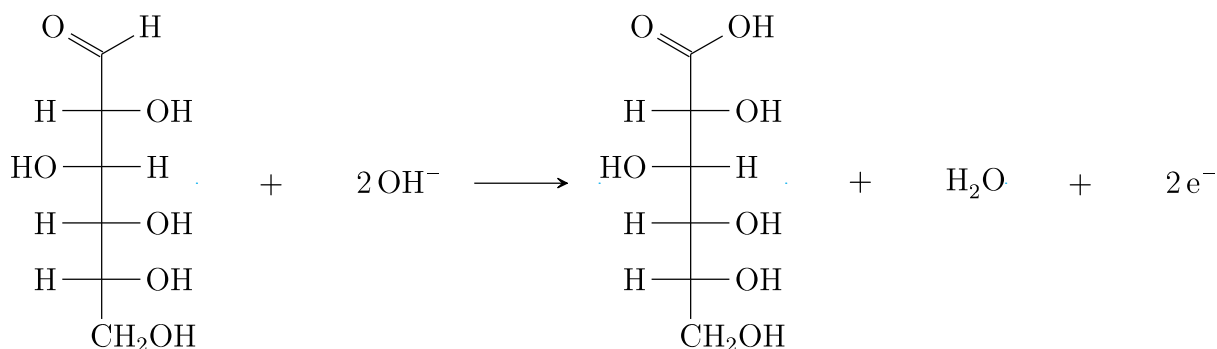


Abbildung 5.6.: Oxidation von Glucose zur Gluconsäure

Um diese Hypothese zu beweisen, bietet es sich an, die Reaktion von BS mit anderen Reduktionsmitteln zu untersuchen, z. B. mit Vitamin C (Exp. 7).

**Experiment 7: Reduktion von BS mit Vitamin C (Ascorbinsäure)**
**Geräte und Chemikalien:**

Reagenzglas, Reagenzglasständer, Reagenzglashalter, Bunsenbrenner, Spatel

Reine BS-Lösung (z. B. aus Versuch 5), Natronlauge ( $c = 1 \text{ mol/L}$ ), Salzsäure ( $c = 4 \text{ mol/L}$ ), Ascorbinsäure

**Gefahr und Sicherheit:**

Natronlauge und Salzsäure wirken bei Hautkontakt ätzend.

**Durchführung:**

In einem Reagenzglas werden 2 mL BS-Lösung mit einer Spatelspitze Ascorbinsäure und 0.5 mL Natronlauge versetzt. Sollte keine Farbveränderung eintreten, wird die Lösung kurz erwärmt. Anschließend werden wenige Tropfen Salzsäure zugegeben.

**Beobachtung:**

Die BS-Lösung färbt sich zunächst gelb und bei Zugabe der Salzsäure pink.

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

Bei der Reaktion von BS mit Ascorbinsäure entsteht das gleiche Produkt wie in Experiment 3. Glucose wirkt also beim beobachteten und zu klärenden Phänomen als Reduktionsmittel.

Die Schüler wissen nun, dass der Farbstoff BS reduziert werden kann. Für eine lückenlose Aufklärung des Phänomens erforschen die Schüler, auf welche Art und Weise der Farbstoff reduziert wird. Hierzu müssen die Schüler einen Blick auf die Molekülstruktur des Farbstoffes werfen und die Oxidationszahlen der einzelnen Atome berechnen. Bei deren Betrachtung fällt auf, dass die Stickstoffatome der Azobrücken die Oxidationsstufe -I haben (Abb. 5.7).

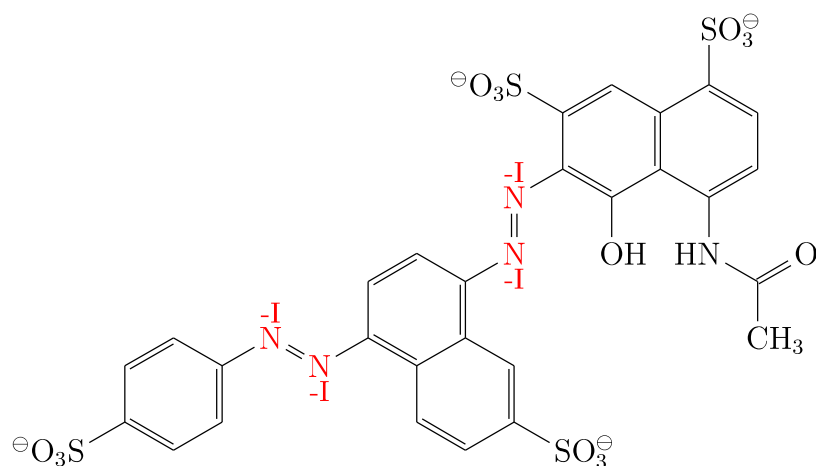
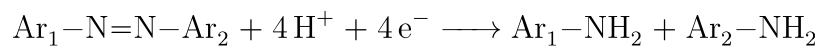


Abbildung 5.7.: Strukturformel von Brillantschwarz mit Oxidationszahlen der Azobrücken

Wie den Schülern aus der Position des Stickstoffs im Periodensystem der Elemente (PSE) oder durch die Betrachtung anderer Moleküle (z. B. Ammoniak NH<sub>3</sub>) bekannt ist, ist die bevorzugte Oxidationsstufe von Stickstoff -III. Aus dieser Information können die Schüler schlussfolgern, dass der Farbstoff an den Azobrücken reduziert werden kann. Im entwickelnden Unterrichtsgespräch kann nun erarbeitet werden, dass Azobrücken reduktiv in aromatische Amine gespalten



werden können.



Diese Erkenntnis stellt die Schüler vor ein weiteres Problem: Das BS-Molekül besitzt zwei Azobrücken, die nicht symmetrisch sind. Die Tatsache, dass nach der Reaktion ein Farbstoff entstanden ist, der reversibel auf pH-Verschiebungen reagiert, deutet darauf hin, dass nur eine der beiden Azobrücken gespalten wurde und damit ein Monoazofarbstoff entstanden ist. Diese Hypothese wird durch die Beobachtung der Reaktion von BS mit starken Reduktionsmitteln untermauert. (Exp. 8)

**Experiment 8: Reduktion von BS mit Zinkstaub****Geräte und Chemikalien:**

Reagenzglas, Reagenzglasständer, Spatel

Reine BS-Lösung (z. B. aus Versuch 5), Salzsäure ( $c = 4 \text{ mol/L}$ ), Zinkstaub

**Gefahr und Sicherheit:**

Salzsäure wirkt bei Hautkontakt ätzend. Zinkstaub ist umweltgefährlich; Entsorgung nach den Richtlinien.

**Durchführung:**

In einem Reagenzglas werden 3 mL BS-Lösung mit 0.05 g Zinkstaub und 2 mL Salzsäure versetzt.

**Beobachtung:**

Es ist eine Gasentwicklung zu beobachten. Nach kurzer Zeit (30 s) ist die Lösung farblos.

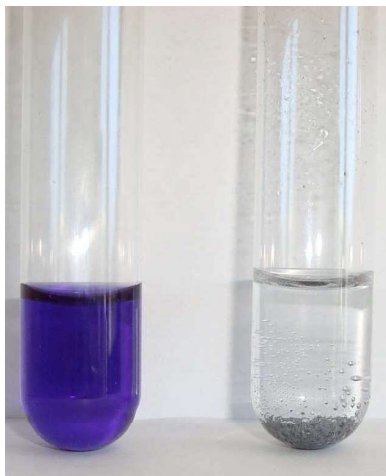


Abbildung 5.8.: Reduktion einer BS-Lösung mit Zinkstaub (links: davor, rechts: danach)

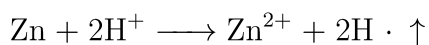
**Deutung im Kontext:**

Bei der Reaktion von BS mit starken Reduktionsmitteln werden beide Azobrücken gespalten.

Die Reaktion mit schwachen Reduktionsmitteln wie Glucose oder Vitamin C führt zur Spaltung einer Azobrücke.

**Erklärung:**

Zink löst sich in Säure unter Bildung von naszierendem Wasserstoff auf.



Dieser naszierende Wasserstoff reagiert entweder mit sich selbst zu Wasserstoffmolekülen oder greift an der Azobrücke des Farbstoffmoleküls an und reduziert diese. Abbildung 5.9 zeigt die Reaktionsgleichung der vollständigen Reduktion von BS.

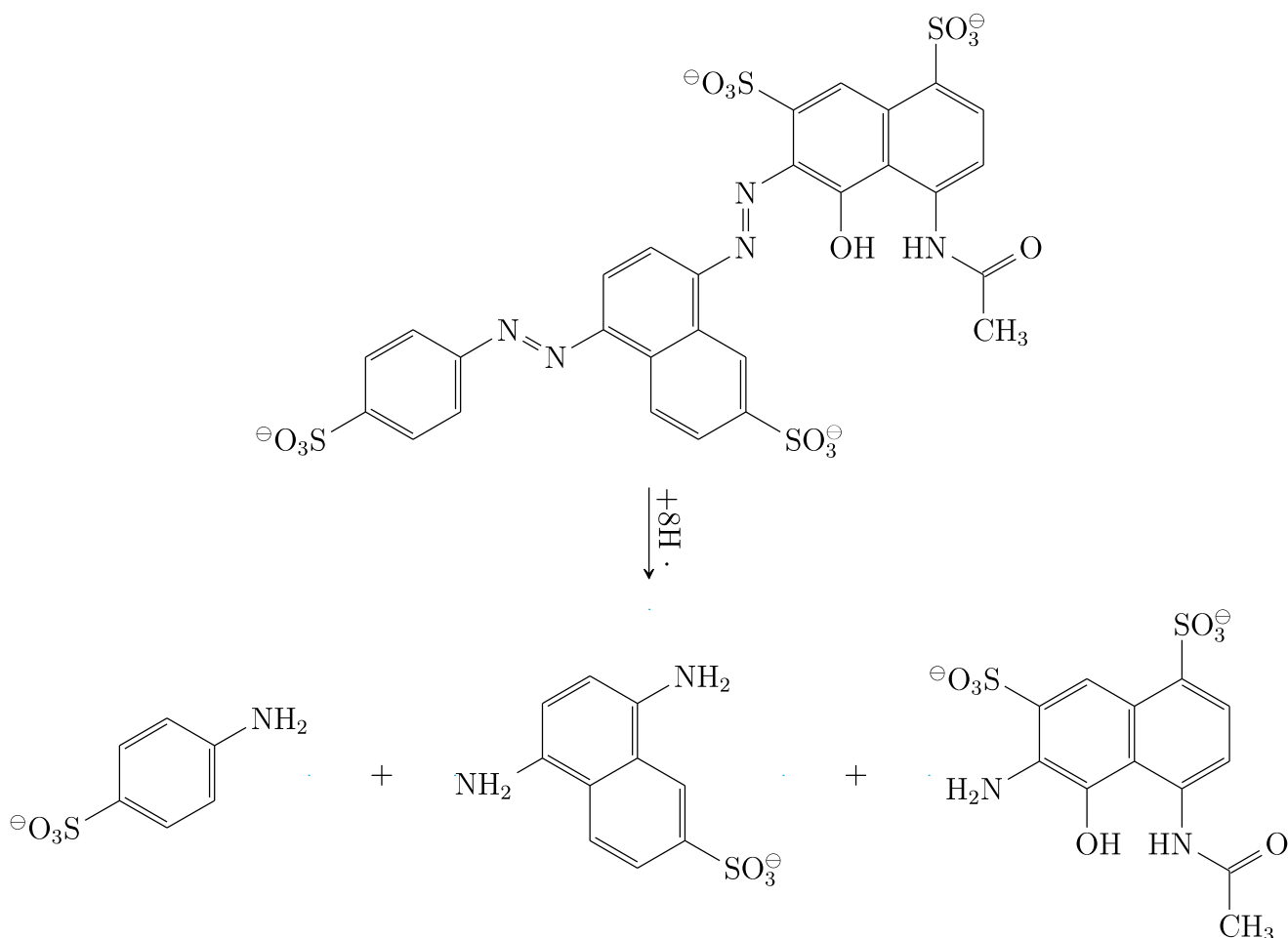


Abbildung 5.9.: Vollständige reduktive Spaltung von BS in aromatische Amine

Für eine vollständige Erklärung des beobachteten Phänomens brauchen die Schüler nun noch die Antwort auf die Frage, welche der beiden Azogruppen bei der Reduktion mit schwachen Reduktionsmitteln gespalten wird. Abbildung 5.10 zeigt die beiden möglichen Reaktionsprodukte.

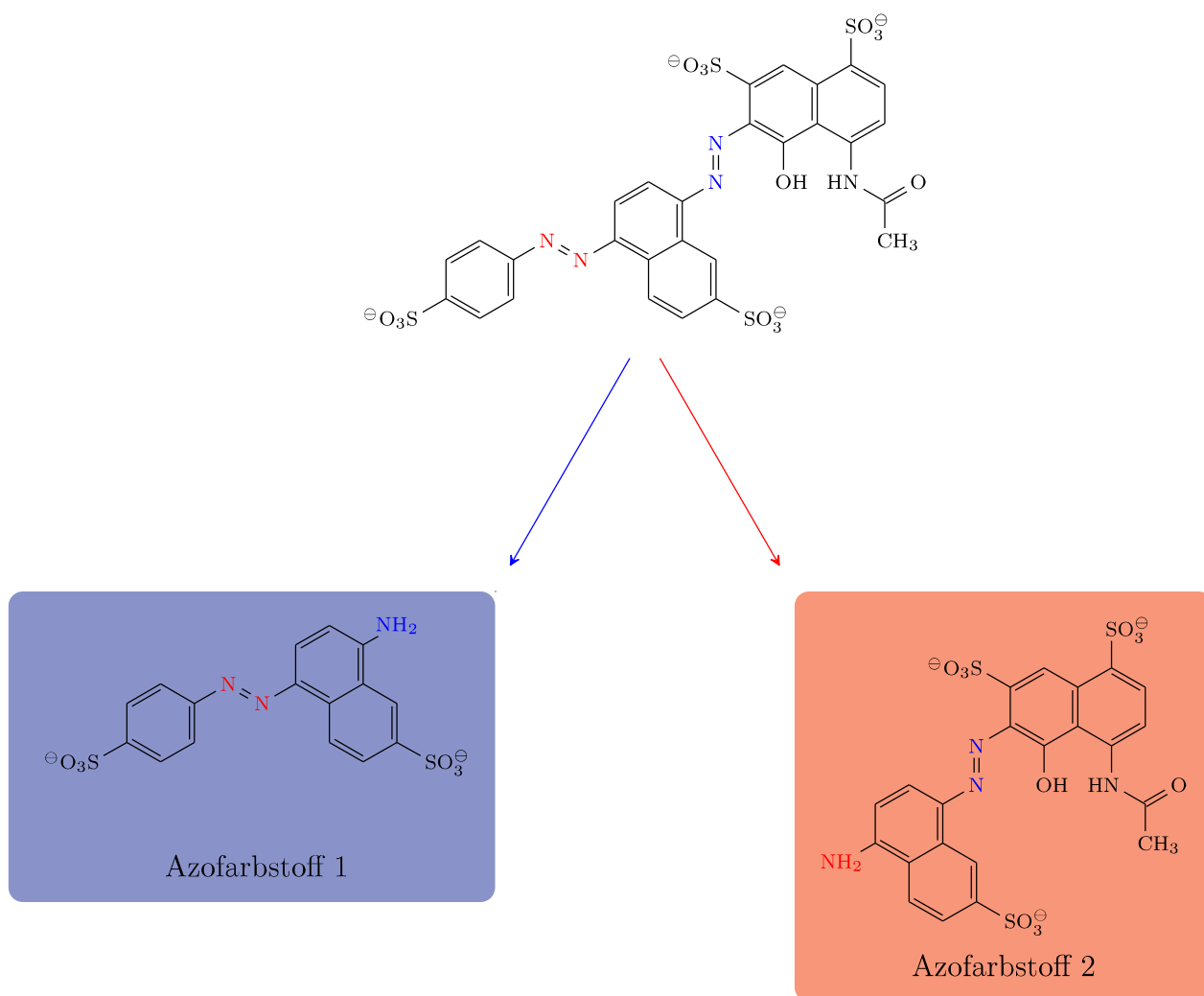


Abbildung 5.10.: Mögliche Produkte bei der Spaltung einer Azobrücke des Farbstoffes BS

Um herauszufinden, welche der beiden Reaktionen abläuft, können die Schüler die Azofarbstoffe

1 und 2 aus Abbildung 5.10 synthetisieren und mit dem Produkt der Reaktion von BS mit schwachen Reduktionsmitteln vergleichen. Aus schulpraktischer Sicht scheidet die Synthese des Azofarbstoffs 2 aus, da die hierfür benötigten Edukte nicht im Handel erhältlich sind. Die Synthese von Azofarbstoff 1 hingegen ist leicht durchführbar. Daher erfolgt die Erforschung der gespaltenen Azogruppe per Ausschlussverfahren.

|  |
|--|
| <b>Experiment 9: Synthese des Monoazofarbstoffes 1 aus Abb. 5.10</b> |
|--|

**Geräte und Chemikalien:**

Reagenzgläser, zwei 500-mL-Bechergläser, 5-mL-Messpipette

Sulfanilsäure, Natriumnitrit, 8-Amino-2-naphthalinsulfonsäure, Natronlauge ( $c = 2 \text{ mol/L}$ ), Salzsäure ( $c = 4 \text{ mol/L}$ ), Eis, dest. Wasser

**Gefahr und Sicherheit:**

Natriumnitrit wirkt brandfördernd, ist giftig bei Verschlucken und umweltgefährlich; Entsorgung nach den Richtlinien. Salzsäure und Natronlauge wirken bei Hautkontakt ätzend. Sulfanilsäure wirkt bei Hautkontakt reizend. Bei fehlerhafter Durchführung können nitrose Gase entstehen. Wenn möglich, ist der Versuch im Abzug durchzuführen.

**Durchführung:**

1. Diazotierung der Sulfanilsäure

0.05 g Sulfanilsäure werden in 2.5 mL Natronlauge gelöst. Parallel werden 0.05 g Natriumnitrit in 2.5 mL Wasser gelöst. Die beiden Lösungen werden in einem der beiden Reagenzgläser gemischt. Die Mischung wird in einem Eisbad (z. B. in einem 500-mL-Becherglas) gekühlt. In einem weiteren Reagenzglas werden 1.5 mL der Salzsäure ebenfalls im Eisbad gekühlt. Nach 10 min wird die Salzsäure tropfenweise und mit niedriger Tropffrequenz (der Tropfvorgang kann bis zu 5 min dauern) in die Sulfanilat-Nitrit-Lösung gegeben. Der

Ansatz verbleibt im Eisbad.

## 2. Kupplung mit 8-Amino-2-naphthalinsulfonsäure

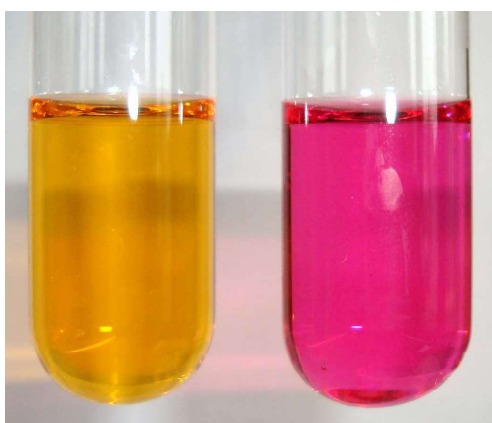
In einem Reagenzglas wird eine Suspension aus 0.065 g 8-Amino-2-naphthalinsulfonsäure in 1 mL Wasser und 1 mL Natronlauge angesetzt. Diese wird gekühlt, durch Schütteln aufgemischt und zur Diazoniumsalz-Lösung aus Schritt 1 geschüttet.

### Beobachtung:

Es entsteht ein tiefroter bis schwarzer Niederschlag. Die überstehende Lösung erscheint blutrot. Eine Verdünnung dieser Lösung (1 mL in 400 mL Wasser) erscheint gelb und beim Ansäuern mit Salzsäure pink.



(a) Das Syntheseprodukt



(b) Das Syntheseprodukt nach Verdünnen (links) und anschließendem Ansäuern (rechts)

### Deutung im Erkenntnisprozess:

Der hergestellte Azofarbstoff weist die gleichen Eigenschaften auf wie das Spaltprodukt aus der Reaktion von BS mit schwachen Reduktionsmitteln. Es entsteht dabei also Azofarbstoff I aus Abb. 5.10.

### Erklärung:

Die Synthese folgt dem gleichen Prinzip wie dem in Kapitel 3.3.3 dargestellten. Abbildung 5.12

zeigt die ablaufende Reaktion.

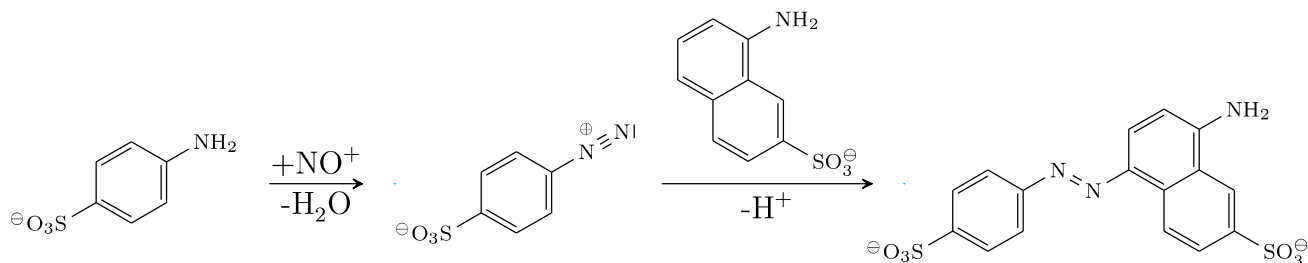


Abbildung 5.12.: Synthese von 8-Amino-5(4-sulfophenylazo)-naphthalin-2-sulfonsäure-Anion

Mit diesem Ergebnis haben die Schüler herausgefunden, welche der beiden Azogruppen bei der Reaktion von BS mit schwachen Reduktionsmitteln gespalten wird. Sie haben somit das zu Beginn des Unterrichtskonzepts beobachtete Phänomen vollständig aufgeklärt. Kapitel 5.4 bietet Möglichkeiten, das Unterrichtskonzept der ‚bärchenstarken Reduktion‘ zu erweitern.

## 5.4. Erweiterungsmöglichkeiten

### 5.4.1. Anwendungsgebiete des Farbstoffes Brillantschwarz

Der Farbstoff Brillantschwarz und die Möglichkeit seiner Reduktion finden in der Industrie Verwendung. Der sogenannte ‚Brillantschwarz-Reduktionstest‘ wird beispielsweise angewandt, um Milch auf den Gehalt etwaiger Hemmstoffe (Antibiotika) zu untersuchen. Diese gelangen durch medikamentöse Behandlung einer Kuh oft noch Tage später in die Milch. Hemmstoffhaltige Milch darf per Gesetz nicht in den Verkauf oder die Weiterproduktion geraten. Der Test wird in kleinen Teströhrchen durchgeführt und kann in einem Schulexperiment nachgestellt werden (Exp. 10).

**Experiment 10: Der Brillantschwarz-Reduktionstest****Geräte und Chemikalien:**

Tropfpipette, Trockenschrank oder Wasserbad

2 Brillantschwarz-Reduktionstest-Ampullen (z. B. von Milku<sup>®</sup>[46]), Milch, Penicillin G

**Gefahr und Sicherheit:**

Keine Risiken.

**Durchführung:**

Die Testampullen werden mit 0.25 mL Milch überschichtet. In eine der beiden Ampullen werden zusätzlich wenige Tropfen einer Penicillin G-Lösung dazugegeben. Anschließend werden die beiden Ampullen für 4 Stunden bei 60°C im Trockenschrank oder Wasserbad bebrütet.

**Beobachtung:**

Das Testmedium der hemmstoff*freien* Milch hat sich von blau nach gelb verfärbt. Das Testmedium der hemmstoff*haltigen* Milch ist blau geblieben.



Abbildung 5.13.: Testampullen nach Brutzeit; überschichtet mit hemmstofffreier (links) bzw. hemmstoffhaltiger Milch (rechts)

**Erklärung:**

Die Testampullen beinhalten eine Mischung aus Agar, Nährstoffen und Testkeimen; sie ist mit



Brillantschwarz eingefärbt. Die Testkeime sind in der Lage, Brillantschwarz enzymatisch reduktiv zu spalten. Dazu müssen sie sich aber in dem Testmedium zunächst vermehren. Da dies jedoch in Anwesenheit von Hemmstoffen nicht möglich ist, ist in der Testampulle mit der hemmstoffhaltigen Milch keine Reaktion eingetreten.

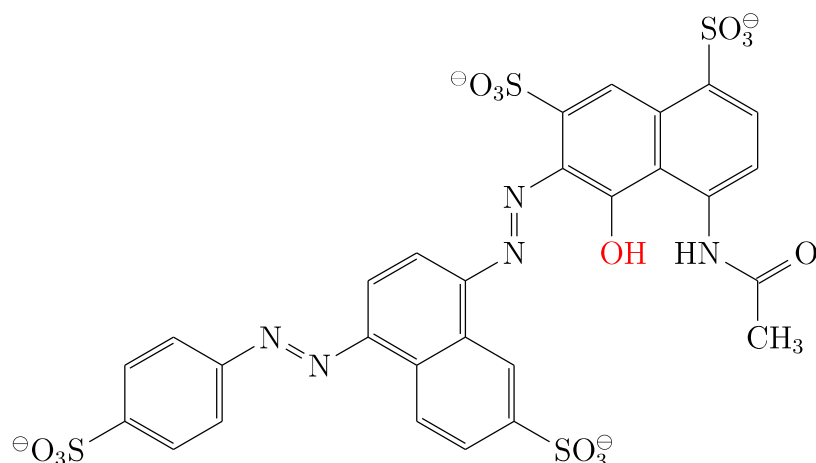
---

Bemerkenswert hierbei ist, dass auch die enzymatische Spaltung von BS offensichtlich selektiv an einer der beiden Azobrücken abläuft. Zur Überprüfung dieser Feststellung kann das gelbe Testmedium aus Versuch 10 aus der Ampulle entnommen, in ein Reagenzglas überführt und mit etwas Salzsäure angesäuert werden. Der charakteristische Farbwechsel von Gelb nach Pink tritt sofort ein.

### 5.4.2. Mechanistische Betrachtungen

Je nach Leistungsniveau und Motivation der Schüler kann bezüglich der selektiven Spaltung von nur einer der beiden Azobrücken ins Detail gegangen werden. Die Frage ist, warum diese Brücke leichter als die andere gespalten wird. Darüber hinaus kann die Spaltung der Azobrücke an sich einer genaueren mechanistischen Betrachtung unterzogen werden.

Der Hauptgrund für die leichtere Spaltung der ‚oberen‘ Azobrücke im BS-Molekül liegt in der Hydroxy-Gruppe in Orthoposition.



Bei Betrachtung der mesomeren Grenzstrukturen wird ersichtlich, dass diese OH-Gruppe mit ihrem +M-Effekt nicht nur die Elektronendichte im Aromaten, sondern auch in der Azogruppe erhöht (Abb. 5.14).

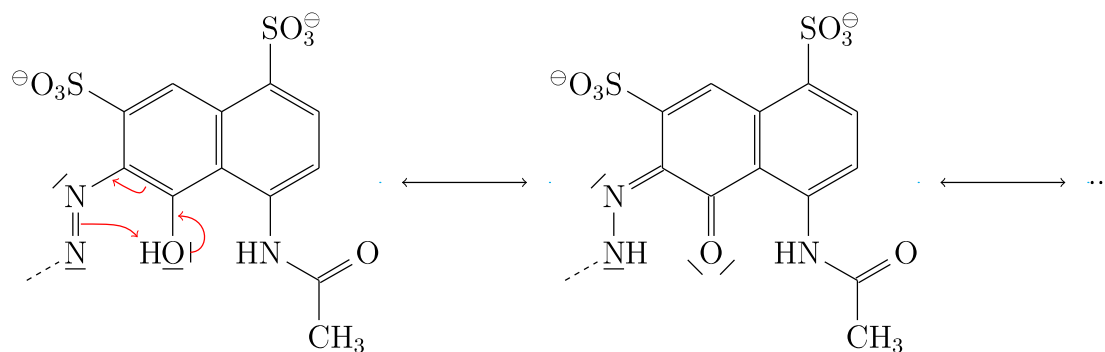


Abbildung 5.14.: Mesomere Grenzstrukturen des ‚oberen‘ Drittels des BS-Moleküls

Im Alkalischen liegt diese Hydroxy-Gruppe deprotoniert vor, was den +M-Effekt in Aromat und Azogruppe noch verstärkt. Hierdurch wird die Anlagerung von Protonen zur Bildung einer Hydrazo-Verbindung erleichtert. Dies ist gleichzeitig der erste Schritt der reduktiven Spaltung von Azogruppen. Abbildung 5.15 zeigt einen möglichen vollständigen Mechanismus der Spaltung.

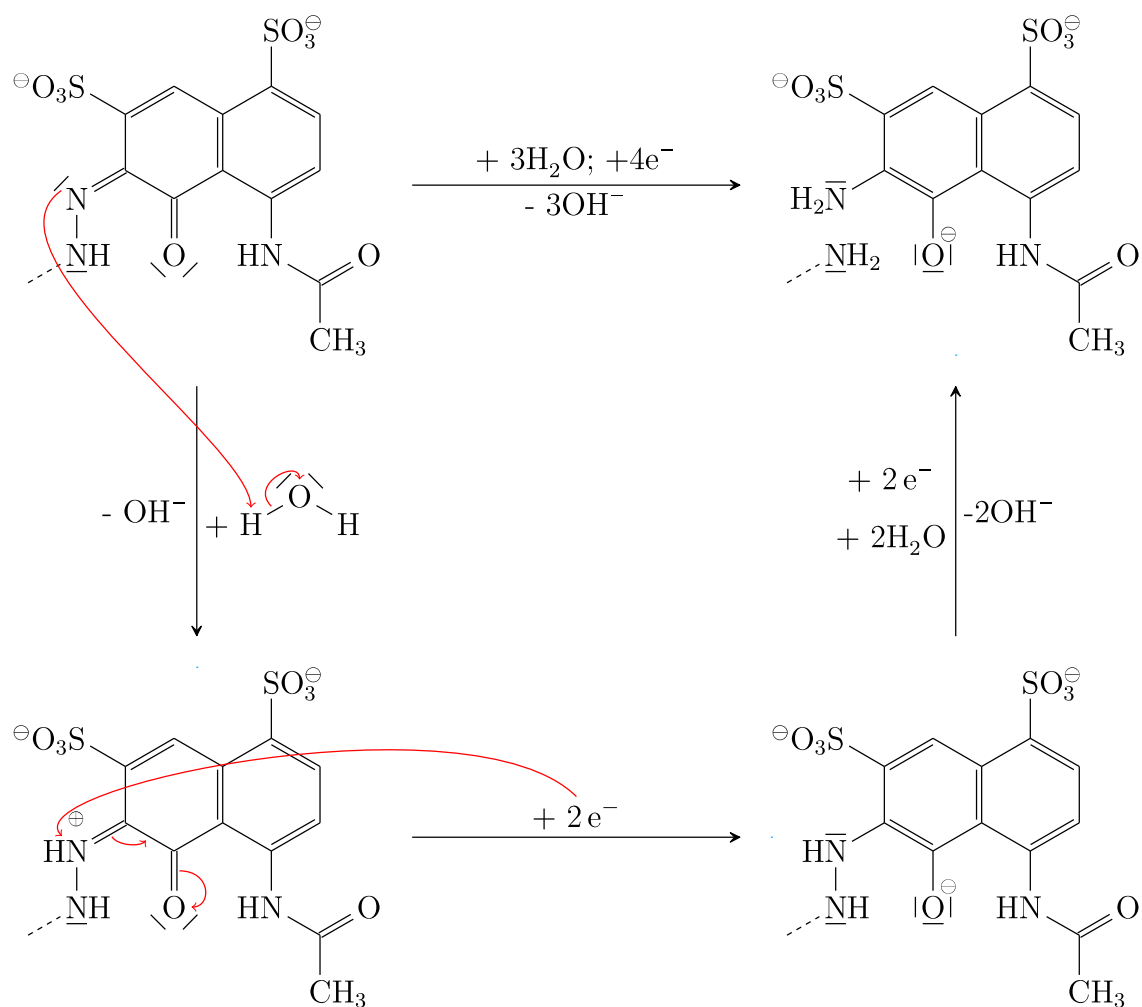


Abbildung 5.15.: Reduktive Spaltung der Azogruppe im BS-Molekül

Dass die Spaltung über eine Anlagerung von Protonen im ersten Schritt abläuft, ist besonders gut bei der Reduktion von BS mit Natriumdithionit zu beobachten. (Exp. 11).

**Experiment 11: Reduktion von BS mit Natriumdithionit****Geräte und Chemikalien:**

Reagenzgläser, Reagenzglasständer, 10-mL-Messpipette, Spatel

Reine BS-Lösung (z. B. aus Versuch 5), Natronlauge ( $c = 1 \text{ mol/L}$ ), Salzsäure ( $c = 4 \text{ mol/L}$ ), Natriumdithionit, Wasserstoffperoxid-Lösung ( $w = 30 \text{ \%}$ )

**Gefahr und Sicherheit:**

Natriumdithionit wirkt gesundheitsschädlich. Salzsäure und Natronlauge wirken bei Hautkontakt ätzend.

**Durchführung:**

In einem Reagenzglas werden 5 mL BS-Lösung mit 5 mL Natronlauge sowie 0.05 g Natriumdithionit versetzt. Zu große Mengen von Natriumdithionit führen im Versuchsverlauf zur Bildung von kolloidal gelöstem Schwefel und übelriechenden Gasen. Anschließend wird die Lösung mit wenigen Tropfen Salzsäure angesäuert.

**Beobachtung:**

Die Zugabe von Natriumdithionit führt zu einer Gelbfärbung der Lösung. Bei Zugabe der Säure entfärbt sich die Lösung vollständig.



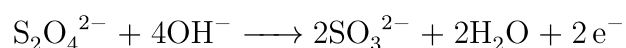
Abbildung 5.16.: Reduktion einer BS-Lösung (links); im Alkalischen (Mitte) und nach dem Ansäuern (rechts)

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

Natriumdithionit spaltet im Alkalischen lediglich eine der beiden Azogruppen, im Säuren wird auch die zweite Azogruppe gespalten.

**Erklärung:**

Natriumdithionit wirkt im Alkalischen gemäß



als Reduktionsmittel. Im Alkalischen ist das Reduktionspotential von Dithionitionen (wie bei der Glucose) zwar stärker, jedoch erfolgt der erste Schritt des Spaltungsmechanismus (die Anlagerung eines Protons, vgl. Abb. 5.15) leichter im Säuren. Insbesondere die Spaltung der zweiten Azogruppe wird im Säuren erleichtert, da diese keine Gruppe in Orthoposition hat, die die Elektronendichte in der Azobrücke erhöhen könnte. Glucose ist im Säuren ein zu schwaches Reduktionsmittel, um die zweite Azogruppe des BS-Moleküls zu spalten. Daher erfolgt in ihrer Anwesenheit im Säuren lediglich die Anlagerung der Protonen an der Azogruppe, ohne sie zu spalten, was den Farbwechsel nach Pink zur Folge hat. Natriumdithionit hingegen ist ein stärkeres Reduktionsmittel und ist in der Lage, nach der Anlagerung der Protonen die zweite Azogruppe zu spalten. Abbildung 5.17 zeigt einen möglichen Mechanismus für die Spaltung der zweiten Azogruppe.

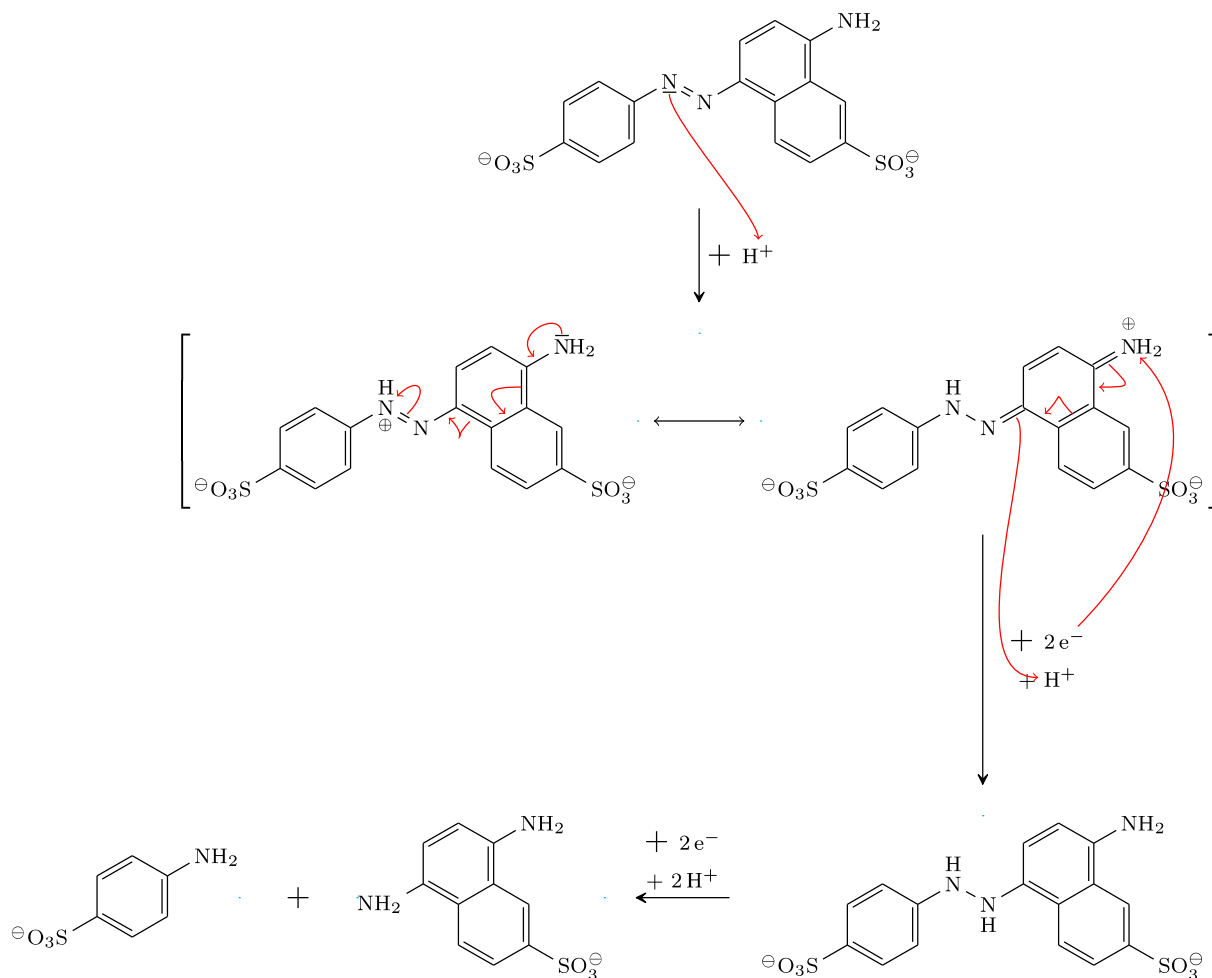
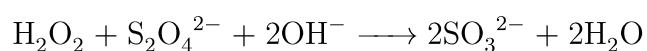


Abbildung 5.17.: Reduktion der zweiten Azogruppe im BS-Molekül

Eine Untermuerung der Spaltung in zwei Schritten kann gewonnen werden, indem im Experiment nach der Zugabe der Lauge (also in die gelb gefärbte Lösung) 1 mL Wasserstoffperoxid-Lösung zugegeben wird. Hierdurch wird das überschüssige Natriumdithionit oxidiert:



Wird nun die Salzsäure zugegeben, entfärbt sich die Lösung nicht mehr, sondern sie färbt sich pink.



## 6. Azofarbstoffe in Textilien

### 6.1. Motivation

Auch das folgende Unterrichtskonzept bietet einen alltagsorientierten Zugang zum Lerninhalt der reduktiven Spaltung von Azofarbstoffen. Das Hauptaugenmerk liegt in diesem Fall jedoch auf der reduktiven Spaltung im menschlichen Körper sowie der daraus folgenden Freisetzung aromatischer Amine und auf den potentiell gesundheitsschädlichen Folgen dieses Vorgangs (vgl. Kapitel 3.3.4). Die industrielle Verwendung von Azofarbstoffen in alltäglichen Gebrauchsgegenständen wie beispielsweise Textilien und den nach wie vor daraus resultierenden Rückru-faktionen [47] stellen eine direkte Verbindung zwischen Schüler und Lerngegenstand dar. Das Unterrichtskonzept bietet den Schülern die Möglichkeit, sich auf wissenschaftlich anspruchsvollem Niveau mit der Thematik auseinanderzusetzen und das erworbene Wissen in ihren Alltag einzubinden (z. B. beim Kauf von Textilien).

### 6.2. Vorbereitungen

#### 6.2.1. Lernvoraussetzungen der Schüler

Die Schüler sollten den Aufbau organischer Moleküle kennen und gegebenenfalls eine aromatische Verbindung identifizieren können. Darüber hinaus sollten die Schüler Redoxreaktionen sicher beherrschen. Wichtig hierbei ist insbesondere, dass die Schüler Redoxreaktionen als Transfer von Elektronen und der damit einhergehenden Veränderung der Oxidationsstufe der betroffenen Atome auffassen. Die für Einzelfälle existierenden Hilfsregeln über die Zu- oder



Abgabe von Sauerstoff- oder Wasserstoffatomen (in der Organik) sind hier nicht ausreichend. Gegebenenfalls kann im Vorfeld des Unterrichtskonzepts der Aufbau organischer Farbstoffe im Allgemeinen erläutert werden (vgl. Kapitel 3.2.3).

### 6.2.2. Färbung der Wollfäden

Für die Durchführung des Unterrichtskonzepts werden mit Azofarbstoffen gefärbte Wollfäden benötigt. Diese sind entweder in der Einstiegsphase des Unterrichtskonzepts als Schülerexperiment oder im Rahmen der Unterrichtsvorbereitung von der Lehrkraft herzustellen. Letzteres ist aus didaktischer Sicht die bessere Variante, da die Schüler im ersten Experiment des Unterrichtskonzepts die Farbstoffe von den Wollfäden wieder desorbieren. Experiment 1 bietet eine Anleitung zur Einfärbung der Wollfäden. Diese Wollfäden sollten keine optischen Aufheller enthalten (sie sollten unter UV-Licht *nicht* fluoreszieren). Diese Anforderung erfüllt beispielsweise die Schafwolle von myboshi<sup>®</sup>, Typ No. 3 in der Farbe ‚weiß 391‘.

**Experiment 1: Färben der Wollfäden mit diversen Azofarbstoffen****Geräte und Chemikalien:**

5-mL-Messpipette, 25-mL-Messzylinder, fünf 100-mL-Erlenmeyerkolben, Glasstab, Bunsenbrenner, Dreifuß, Tiegelszange, Spatel

Schafwollfäden (Länge: 20–30 cm; mit Aceton oder Ethanol entfettet und anschließend getrocknet), Essigsäure ( $c = 2 \text{ mol/L}$ ), Biebricher Scharlach, Azorubin S, Gelborange S, Braun HT, Tartrazin O, Wasser

**Gefahr und Sicherheit:**

Keine Risiken.

**Durchführung:**

In je einem Erlenmeyerkolben werden 20 mL Wasser mit wenigen Kristallen eines Farbstoffes eingefärbt und mit 2 mL der Essigsäure versetzt. Anschließend wird je ein entfetteter Wollfaden hinzugegeben und die Lösung für 2 min geschüttelt. Danach werden die Lösungen zum Sieden gebracht. Nach 10 s Sieden wird der Erlenmeyerkolben mittels einer Tiegelszange von der Wärmequelle entfernt. Die Lösungen werden zum Abkühlen beiseite gestellt. Mit einem Glasstab werden die Wollfäden den Lösungen entnommen, für 2 min mit kaltem Wasser intensiv gespült und zum Trocknen auf ein Stück Papierrolle gelegt.

**Beobachtung:**

Während des Siedens entfärben sich die Lösungen zunehmend, wohingegen die Wollfäden die Farbe der Lösungen annehmen.



Abbildung 6.1.: Mit den Farbstoffen gefärbte Wollfäden. Von oben nach unten: Biebricher Scharlach, Gelborange S, Braun HT, Tartrazin O, Azorubin S

### **Erklärung:**

Wolle besteht zu einem Großteil aus Keratin. Die Amino ( $-\text{NH}_2$ )-Gruppen dieses Proteins werden durch die Essigsäure zu positiv geladenen Ammonium ( $-\text{NH}_3^+$ )-Gruppen, die zu den Sulfonat ( $-\text{SO}_3^-$ )-Gruppen der Farbstoffe eine feste, in Wasser schwerlösliche Ionenbindung bilden können. Abbildung 6.2 zeigt die Bindung am Beispiel des Farbstoffes Gelborange S.

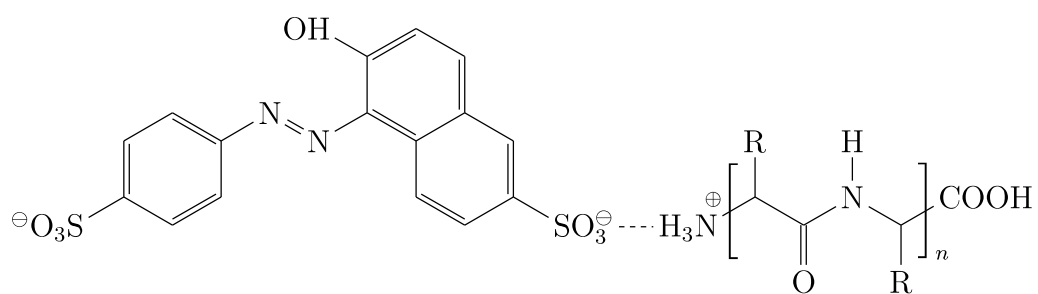


Abbildung 6.2.: Ionenbindung zwischen Keratin und Gelborange S

## 6.3. Didaktische Umsetzung

### 6.3.1. Einstieg

Der Einstieg in das Thema erfolgt bei diesem Unterrichtskonzept durch die Präsentation verschiedener Medienberichte zum Einsatz von Azofarbstoffen in Gebrauchsgegenständen. Die Abbildungen 6.3 und 6.4 zeigen zwei mögliche Beispiele.

**DIE WELT**

**Krebs durch schwarze Kleidung**

Experten warnen vor Textilien, die mit Azofarben behandelt wurden - Illegale Importe  
*Von Grit Grohmann*

Schwarz ist bei den alten Chinesen die Farbe der Weisheit. Dennoch könnte es bisweilen klüger sein, bei Kleidungsstücken Schwarz zu meiden. Bakterien auf der Haut mixen nämlich aus dunklen Kleiderfarbstoffen und Schweiß einen gefährlichen Cocktail: Sie zersetzen bestimmte Azofarbstoffe zu aromatischen Aminen. Diese Substanzen wandern durch die Haut und können Krebs erregend wirken. Forscher am Institut für Mikrobiologie und Genetik der TU Berlin entdeckten diese Eigenschaft bei verschiedenen Arten von Hautbakterien.

In Deutschland sind zwar Azofarbstoffe zum Färben von Gebrauchsgegenständen, also auch von Kleidung, verboten. Doch Kleidung „made in Germany“ ist schwer zu finden. Hauptsächlich werden Textilien in Fernost produziert. In China versponnen, in Indien gefärbt und in Singapur konfektioniert, landet die Ware schließlich bei uns auf dem Ladentisch. Der Markt ist groß, und es ist nur schwer kontrollierbar, was nach Deutschland eingeführt wird.

Abbildung 6.3.: Bericht aus ‚Die Welt - online‘ - verändert nach [48]


| No.<br>Ref.       | Notifying country | Product<br>(Click on the photo to enlarge)   | Risk   | Measures adopted by<br>notifying country                                |
|-------------------|-------------------|--|--|---|
| 56<br>A11/0094/14 | Germany           | <b>Category:</b> Protective equipment<br><b>Product:</b> Work gloves<br><b>Brand:</b> Keron-Works<br><b>Name:</b> Worker<br><b>Type/number of model:</b> 297184, Size 10<br><b>Batch number/Barcode:</b> 4 018653 099575<br><b>OECD Portal Category:</b> 85000000 - Safety / Protection - DIY<br><b>Description:</b> Work gloves in white/grey leather; back of gloves and 6 cm-wide reinforced cuff in dark green fabric; cuff with dark green fabric piping around colour-printed cardboard label.<br><b>Country of origin:</b> India<br> | Chemical<br>The product poses a chemical risk because it contains azo dyes releasing the aromatic amine 4-chloroaniline (CAS-No 106-47-8) (up to 360 mg/kg).<br>When the product is in direct and prolonged contact with the skin, the aromatic amine may be absorbed by the skin. Aromatic amines can cause cancer, cell mutations and affect reproduction.<br>The product does not comply with the REACH Regulation. | <b>Voluntary measures:</b><br>Withdrawal of the product from the market |

Abbildung 6.4.: Ausschnitt aus einer Rapex-Wochenmeldung, verändert nach [47]

An dieser Stelle sei auf die Möglichkeit des Einsatzes weiterer/anderer Medienberichte verwiesen. Insbesondere die Rapexberichte bieten in regelmäßigen Abständen aktuelle Fälle von entdeckten Azofarbstoffen in Gebrauchsgegenständen.

Die Berichte werfen für die Schüler eine Menge Fragen auf, da ihnen im Regelfall viele der verwendeten Begriffe (Azofarbstoffe, aromatische Amine etc.) unbekannt sind. An dieser Stelle kann im LSG entwickelt werden, wie Azofarbstoffe aufgebaut und was aromatische Amine sind (vgl. Kapitel 3.3). Sollten den Schülern Bedeutung und Funktionsweise eines Chromophors nicht bekannt sein, kann die Lehrkraft an dieser Stelle darauf aufmerksam machen, dass die Azogruppe als Bindeglied zwischen zwei aromatischen Systemen entscheidenden Anteil an der Farbigkeit der Azofarbstoffe hat. Aus dem Material in Abbildung 6.3 erfahren die Schüler, dass Azofarbstoffe durch Schweiß und Hautbakterien in aromatische Amine zersetzt werden können. An dieser Stelle erhalten die Schüler die Aufgabe herauszufinden, wie aus einem konkreten Azofarbstoff in einer chemischen Reaktion aromatische Amine entstehen können. Schnell erkennen die Schüler, dass hierzu die Anlagerung von Wasserstoff an der Azogruppe und deren Spaltung notwendig ist. Abbildung 6.5 zeigt eine Gleichung, bei der das aroma-

tische Amin, das für den Rückruf der Handschuhe in Abbildung 6.4 verantwortlich ist, entsteht.

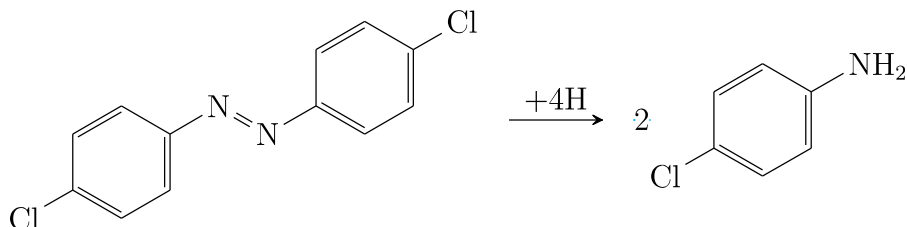


Abbildung 6.5.: Spaltung eines Azofarbstoffes (hier: 4,4'-Dichlor-azobenzol) unter Bildung aromatischer Amine (hier: 4-Chloranilin)

4-Chloranilin ist nach dem global harmonisierten System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (GHS) mit folgenden H-Sätzen (Hazard-Statements) versehen[49]:

- H350: Kann Krebs erzeugen
- H331: Giftig bei Einatmen.
- H311: Giftig bei Hautkontakt.
- H301: Giftig bei Verschlucken.
- H317: Kann allergische Hautreaktionen verursachen.
- H410: Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.

Der Azofarbstoff in Abbildung 6.5 hat deutlich weniger H-Sätze [50]:

- H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.
- H319 Verursacht schwere Augenreizung.
- H413 Kann für Wasserorganismen schädlich sein, mit langfristiger Wirkung.

Jedoch ist auch 4,4'-Dichlor-azobenzol als ‚gesundheitsschädlich bei Verschlucken‘ eingestuft. Um die Schüler darauf aufmerksam zu machen, dass auch vermeintlich harmlose Farbstoffe

nach einer solchen Spaltung mitunter toxische Produkte freisetzen können, kann an dieser Stelle der Azofarbstoff Orange G genauer betrachtet werden. Nach GHS gehen von Orange G keine Gefährdungen aus, die eine Kennzeichnung mit H-Sätzen erforderlich machen würde.[51] Als mögliches Spaltprodukt entsteht aber gemäß Abbildung 6.6 Anilin, ein bekanntermaßen hoch toxischer und potentiell kanzerogener Stoff. Dennoch wurde Orange G lange Zeit in Kosmetika, insbesondere in Lippenstiften, eingesetzt. Eine Neuverordnung der EU im Jahre 2009 verbietet seinen Einsatz seit 2013 in Kosmetika, die auf Schleimhäuten aufgetragen werden.[52]

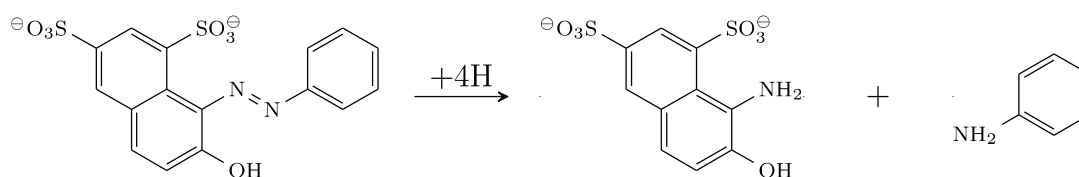


Abbildung 6.6.: Spaltung des Azofarbstoffes Orange G

### 6.3.2. Erarbeitung der ablaufenden Reaktion

Der nächste Arbeitsauftrag für die Schüler besteht in der Feststellung des ablaufenden Reaktionstyps bei einer solchen Spaltung von Azofarbstoffen. Die Überprüfung auf eine Redoxreaktion erfolgt über die Betrachtung der Oxidationszahlen. Um Frust und lange, monotone Arbeitsaufträge zu vermeiden, kann von der Lehrkraft der Hinweis gegeben werden, dass es sinnvoll erscheint, die Oxidationszahlen derjenigen Atome zu betrachten, an denen sich im Laufe der Reaktion etwas verändert. In diesem Fall sind das die Stickstoffatome der Azogruppe. Ihre Oxidationsstufe verändert sich im Laufe der Reaktion von -I zu -III. Die Schüler gewinnen die Hypothese, dass es sich bei der Reaktion um eine Reduktion handeln könnte.

Um die Hypothese zu überprüfen, können die Schüler versuchen, durch Einwirken von Reduktionsmitteln eine Reaktion bei Azofarbstoffen herbeizuführen (Exp. 2). Dass dies gelingt, ist den Schülern zu diesem Zeitpunkt keineswegs klar. Sie wissen lediglich, dass Hautbakterien in der Lage sind, Azofarbstoffe zu spalten.

**Experiment 2: Desorption und Reduktion von Azofarbstoffen an Wollfäden****Geräte und Chemikalien:**

Reagenzgläser, Reagenzglashalter, Bunsenbrenner, Glasstab

Gefärbte Wollfäden aus Experiment 1, Waschsoda, Entfärber auf Natriumdithionitbasis (mind. 30 % Natriumdithionitanteil, z. B. von Heitmann<sup>®</sup>), reines Natriumdithionit

**Gefahr und Sicherheit:**

Bei der Arbeit mit Farbstoffen sind Handschuhe empfohlen. Natriumdithionit wirkt gesundheitsschädlich bei Verschlucken.

**Durchführung:**

Von jedem Faden werden 5 cm in je einem Reagenzglas mit 5 mL Wasser und 0.02 g Soda versetzt. Anschließend wird die wässrige Lösung zum Sieden erhitzt. Nach 5 s Sieden können die Wollfäden mittels Glasstab aus den Lösungen entnommen werden. Die Lösungen werden folgendermaßen behandelt:

- Azorubin S und Gelborange S: Die noch warme Lösung wird mit 0.02 g Power-Entfärber versetzt.
- Tartrazin O: Die Lösung wird mit 0.04 g Power-Entfärber vermengt und erneut über dem Bunsenbrenner erhitzt.
- Braun HT: Die Lösung wird mit 0.05 g Natriumdithionit versetzt und erneut über dem Bunsenbrenner erhitzt.

**Beobachtung:**

Die Lösungen entfärben sich. Bei der Braun HT-Lösung bleibt eine schwache, gelbliche Restfärbung erhalten.



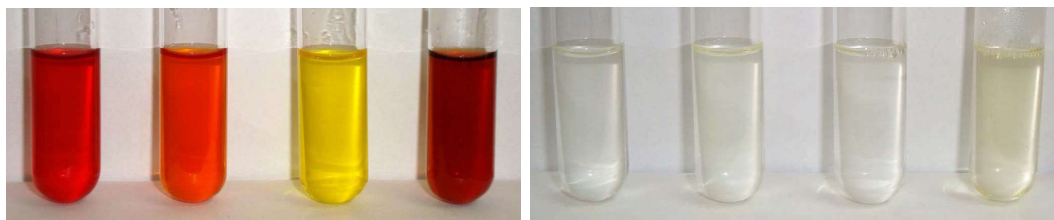


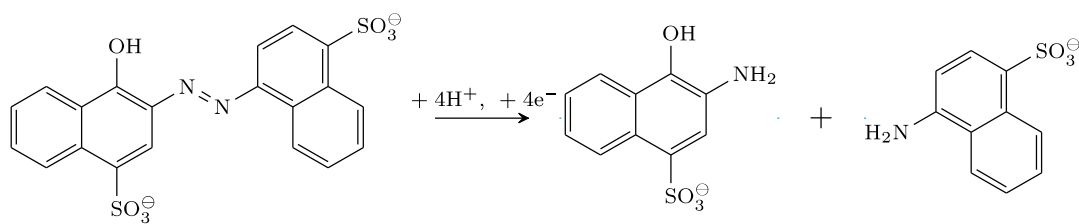
Abbildung 6.7.: Farblösungen vor (links) und nach (rechts) der Zugabe von Power-Entfärber bzw. Natriumdithionit

### **Deutung im Erkenntnisprozess:**

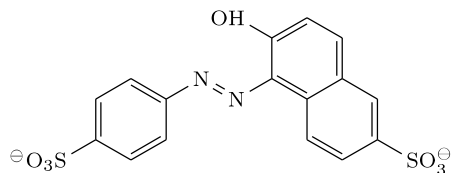
Die Entfärbungen der Lösungen bedeuten einen Verlust der chromophoren Strukturen. Die Azobrücken müssen gespalten worden sein. Azofarbstoffe lassen sich also durch Reaktion mit Reduktionsmitteln spalten.

### **Erklärung:**

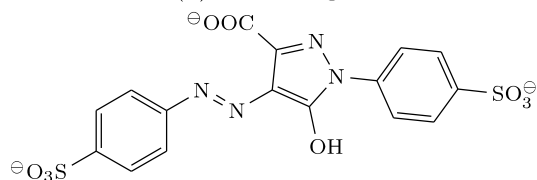
Waschsoda steigert den pH-Wert der Lösung, wodurch die Ammoniumgruppen des Keratins im Wollfaden deprotoniert werden (vgl. Abb. 6.2). Der Farbstoff löst sich vom Faden und geht in die Lösung über. Anschließend wird er durch das Reduktionsmittel reduktiv gespalten. Abbildung 6.8a zeigt die Reaktionsgleichung für den Farbstoff Azorubin S. Die Reaktionsgleichung kann analog für die anderen Farbstoffe aufgestellt werden. Die Abbildungen 6.8b bis 6.8d zeigen die Strukturformeln der verwendeten Farbstoffe.



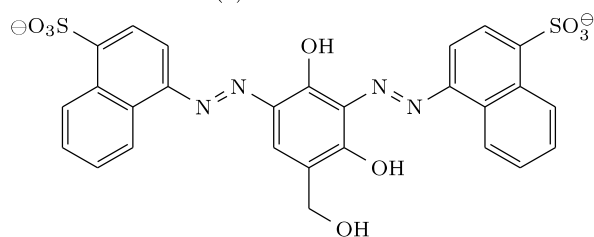
(a) Reduktive Spaltung des Farbstoffes Azorubin S



(b) Gelborange S



(c) Tartrazin O



(d) Braun HT

Abbildung 6.8.: Strukturformeln der verwendeten Farbstoffe und die Reaktion von Azorubin S mit Reduktionsmitteln

Die Durchführung von Experiment 2 mit dem Biebricher-Scharlach-Faden führt zu einem abweichenden, zunächst überraschenden Ergebnis. Dieser Versuch muss aufgrund der entstehenden Produkte als Lehrerversuch durchgeführt werden.

**Experiment 3: Desorption und Reduktion von Biebricher Scharlach am Wollfaden****Geräte und Chemikalien:**

Reagenzgläser, Reagenzglashalter, Bunsenbrenner, Glasstab

Mit Biebricher Scharlach gefärbter Wollfaden aus Experiment 1, Waschsoda, Entfärber auf Natriumdithionitbasis, Salzsäure ( $c = 4 \text{ mol/L}$ ), Natronlauge ( $c = 4 \text{ mol/L}$ ), Wasserstoffperoxid-Lösung ( $w = 30 \text{ \%}$ )

**Gefahr und Sicherheit:**

Natriumdithionit wirkt gesundheitsschädlich bei Verschlucken. Natronlauge und Salzsäure wirken bei Hautkontakt ätzend. Beim Versuch entstehen geringe Mengen 1-Amino-2-naphthol (  $\longrightarrow$  Lehrerversuch ).

**Durchführung:**

Der Farbstoff wird wie in Experiment 2 vom Wollfaden desorbiert und mit 0.02 g Entfärber versetzt.

**Beobachtung:**

Die Lösung färbt sich gelb.

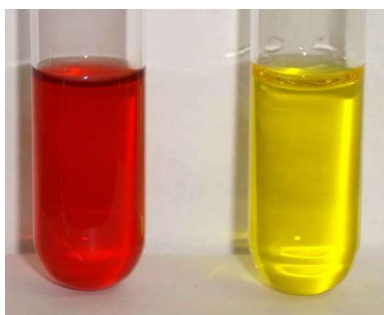


Abbildung 6.9.: Biebricher Scharlach-Lösung vor (links) und nach (rechts) der Zugabe von Power-Entfärber

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

Der Farbstoff Biebricher Scharlach behält nach der Reduktion ein chromophores System.

---

Um diese Beobachtung erklären zu können, müssen die Schüler die Strukturformel von Biebricher Scharlach analysieren (Abb. 6.10).

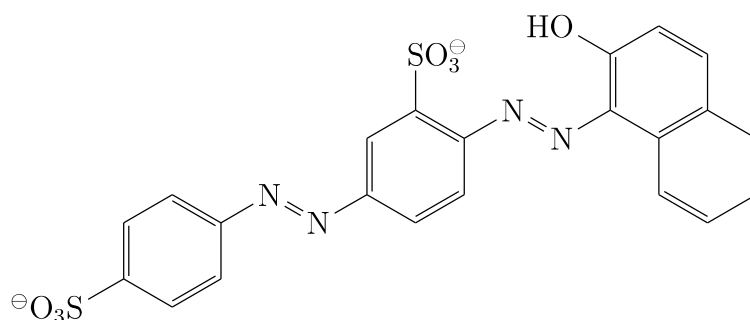


Abbildung 6.10.: Strukturformel von Biebricher Scharlach

Es ist leicht zu erkennen, dass es sich bei Biebricher Scharlach wie bei Braun HT um einen Bisazofarbstoff handelt. Für die Schüler ergeben sich zwei mögliche Hypothesen für die Gelbfärbung der Lösung:

1. Der Farbstoff wird vollständig gespalten und mindestens eines der drei Produkte hat eine gelbe Farbe.
2. Nur eine der beiden Azobrücken wird gespalten, sodass als Produkte ein Monoazofarbstoff und ein aromatisches Amin entstehen.

Letztere Hypothese kann überprüft werden, indem der unbekannte gelbe Farbstoff auf ein typisches Verhalten von Monoazofarbstoffen hin untersucht wird, z. B. die pH-Abhängigkeit der Farbe. Ein Teil der gelben Lösung aus Experiment 6.10 wird also mit wenigen Tropfen Salzsäure versetzt. Die Lösung entfärbt sich nun vollständig (Abb. 6.11 Mitte). Unter der Voraussetzung, dass zuvor ein Monoazofarbstoff entstanden war, der nun weiter reagiert hat, lässt die Beobachtung erneut zwei Interpretationsmöglichkeiten zu:

A Der entstandene Monoazofarbstoff hat den Farbumschlag Gelb  $\longrightarrow$  farblos.

B Im Säuren wird auch die zweite Azobrücke gespalten.

Sollte die erste Hypothese zutreffen, muss die Reaktion reversibel sein. Eine schnelle Überprüfung durch Zugabe von Natronlauge zeigt, dass dies nicht der Fall ist. Um die zweite Hypothese und damit gleichzeitig die Hypothese der Bildung eines Monoazofarbstoffes in Experiment 3 zu überprüfen, kann in der gelben Lösung *vor* Zugabe der Säure das überschüssige Natriumthionit durch die Zugabe von Wasserstoffperoxidlösung gemäß



oxidiert werden. Bei anschließender Zugabe von Säure färbt sich die Lösung orange.



Abbildung 6.11.: Teilreduzierte Biebricher Scharlach-Lösung (links), die gleiche Lösung nach dem Ansäuern (Mitte) und nach Zugabe von Wasserstoffperoxid und anschließendem Ansäuern (rechts)

Damit sind sowohl die Hypothese der Bildung eines Monoazofarbstoffes als auch die weitere reduktive Spaltung dieses Monoazofarbstoffes im Säuren bewiesen. Abbildung 6.12 zeigt das zugehörige Reaktionsschema.

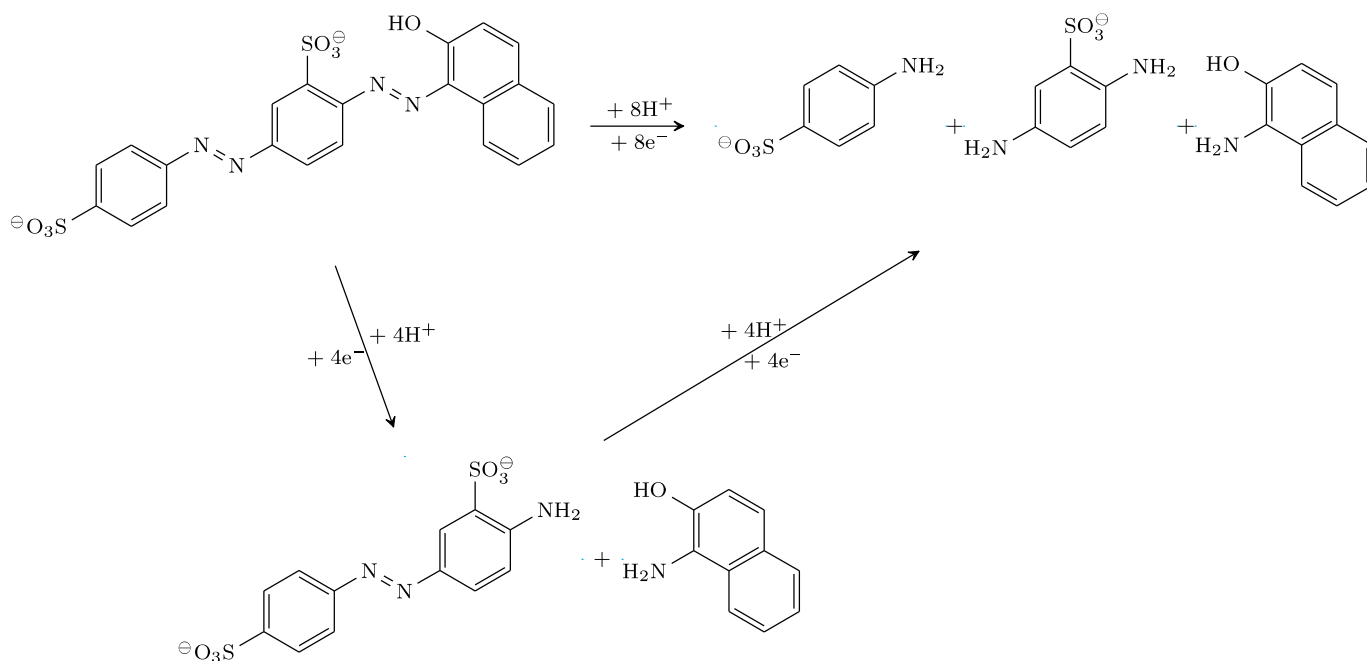


Abbildung 6.12.: Reduktive Spaltung des Farbstoffes Biebricher Scharlach in zwei Schritten

Der nach der Teilreduktion entstandene Monoazofarbstoff heißt Echtgelb (Synonym: Fast Yellow AB) und ist im Chemikalienhandel erhältlich. Der Farbumschlag von Gelb zu Orange erfolgt, wie bei den meisten Azofarbstoffen, durch Protonierung der Azogruppe (Abb. 6.13).

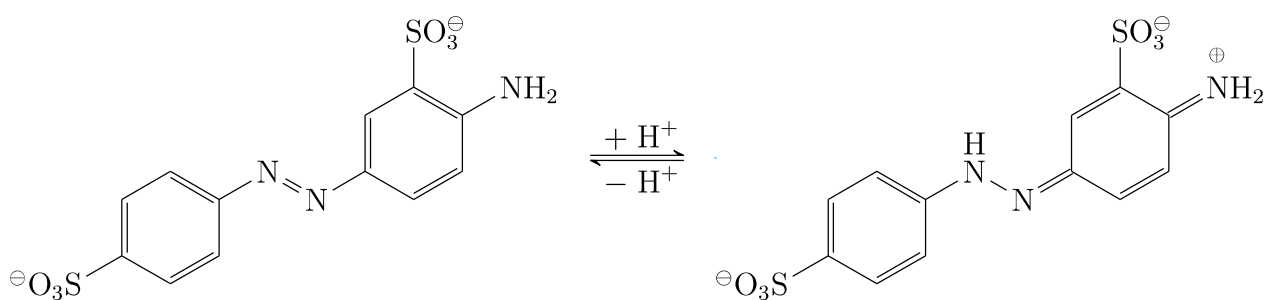


Abbildung 6.13.: Reversible Protonierung von Echtgelb

### 6.3.3. Die Hautgängigkeit der Azofarbstoffe

Nachdem die Schüler den Aufbau der Azofarbstoffe kennen gelernt sowie die Reaktion, die zur Bildung der aromatischen Amine führt, identifiziert haben, kann ihnen an dieser Stelle mit ei-

nem Modellversuch noch gezeigt werden, dass Azofarbstoffe und ihre Spaltprodukte durch die menschliche Haut penetrieren können und so in den Körper gelangen. Die Schüler erhalten aus dem Material in Abbildung 6.3 die Information, dass die Spaltung in aromatische Amine durch Hautbakterien, also auf der Hautoberfläche passiert. Der folgende Modellversuch zeigt, dass die Spaltprodukte eines Azofarbstoffes schneller durch die Haut penetrieren können als der ursprüngliche Azofarbstoff. Als Modell für die menschliche Haut dient die Haut von Hühnereiern, deren Oberfläche mit der obersten Hautschicht des Menschen („Epidermis“) gut vergleichbar ist. Als Modellfarbstoffe eignen sich die im Rahmen des Unterrichtskonzepts behandelten Farbstoffe Biebricher Scharlach und Echtgelb. Die Kombination der beiden Farbstoffe bietet den Vorteil, dass mit Echtgelb ein farbiges Spaltprodukt eines Azofarbstoffes gegeben ist. In vielen Fällen sind die Spaltprodukte von Azofarbstoffen farblos. Darüber hinaus handelt es sich bei Echtgelb gleichzeitig um ein aromatisches Amin, bei Biebricher Scharlach hingegen nicht.

**Experiment 4: Modellversuch zur Hautgängigkeit von Azofarbstoffen und ihren Spaltprodukten****Geräte und Chemikalien:**

kleines Reagenzglas ( $l = 5.5 \text{ cm}$ ,  $d = 12 \text{ mm}$ ), 50-mL-Becherglas, 400-mL-Becherglas, Schere, Gummiband, Spatel, Stativmaterial

rohe Hühnereier, Essigsäure ( $c = 2 \text{ mol/L}$ ), Echtgelb (Fast Yellow AB), Biebricher Scharlach

**Gefahr und Sicherheit:**

Essigsäure wirkt reizend.

Anmerkung: Da bei diesem Versuch im Handel erhältliches Echtgelb verwendet wird, muss der Farbstoff Biebricher Scharlach nicht zuvor teilweise gespalten werden. Dies hat den Vorteil, dass kein 1-Amino-2-naphthol entsteht, sodass der Versuch von Schülern durchgeführt werden kann.

**Durchführung:**

Die Hühnereier werden in einem 400-mL-Becherglas für ca. 1-2 Tage mit Essigsäure überdeckt. Sobald die Kalkschale sich weitgehend aufgelöst hat (kleinere Reste lassen sich einfach mit der Hand abstreichen), werden die Eier der Essigsäure entnommen und mit Wasser gespült. Anschließend werden sie mit einer Schere aufgestochen. Das Eiweiß und das Eigelb werden verworfen, die Eihaut in zwei Hälften geschnitten und gründlich gewaschen. Zur Aufbewahrung wird die Haut in destilliertem Wasser gelagert.

In einem Becherglas werden nun 10 mL Wasser mit wenigen Kristallen Echtgelb und anschließend mit wenigen Kristallen Biebricher Scharlach versetzt. Die Farbstoffmenge muss klein genug sein, damit sich die Kristalle vollständig auflösen, und gleichzeitig groß genug, um die Lösung erst intensiv gelb und anschließend intensiv rot zu färben. Anschließend werden 4 mL der Lösung in ein Reagenzglas gegeben. Die Öffnung des Reagenzglases wird mit einer halben Eihaut überdeckt. Mittels Gummiband wird die Haut so am Reagenzglas fixiert, dass beim Umdrehen des Reagenzglases keine Lösung mehr ausläuft. Nun wird das präparierte Reagenzglas mit der Öffnung nach unten in ein mit Wasser befülltes Schnappdeckelglas



getaucht. Mithilfe eines Stativs mit Klemme und Muffe wird die Apparatur fixiert.

**Beobachtung:**

Nach 20 min beginnt die Lösung im Schnappdeckelglas sich zunehmend gelb zu färben. Erst nach mehreren Stunden färbt sich die Lösung orange.



(a) Zu Beginn

(b) Nach 20 min

(c) Nach 45 min

Abbildung 6.14.: Modellversuch zur Hautgängigkeit von Azofarbstoffen und ihren Spaltprodukten

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

Der Farbstoff Echtgelb gelangt deutlich schneller durch die Eihaut als der Farbstoff Biebricher Scharlach.

---

## 6.4. Ergänzungsmöglichkeiten

### 6.4.1. Exaktere Nachweise einzelner Schlussfolgerungen

Zwei der Hypothesen, die die Schüler im Verlauf des Unterrichtskonzepts aufstellen, können auf wissenschaftlich anspruchsvollerem Niveau bestätigt werden.

#### a) Nachweis, dass die Entstehung der aromatischen Amine aus Azofarbstoffen eine Reduktion ist

Die Schüler gelangen zu einer weiteren Bestätigung ihrer Deutung der in Experiment 2 beobachteten Reaktion durch die Betrachtung der Azorubin S- und Braun HT-Lösung nach Zugabe des Reduktionsmittels. Bei der Spaltung dieser Farbstoffe entsteht das Anion der Piria-Säure (4-Aminonaphthalin-1-Sulfonat, Abb. 6.15), das unter UV-Licht eine fluoreszierende Erscheinung (vgl. Kap. 7) zeigt.

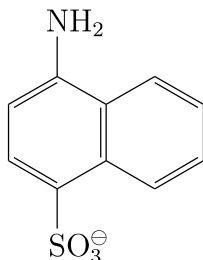


Abbildung 6.15.: Strukturformel von 4-Aminonaphthalin-1-Sulfonat

Für eine bessere Sichtbarkeit der Fluoreszenz muss die Braun HT-Lösung aus Experiment 2 noch vollständig entfärbt werden. Dies geschieht durch Zugabe weniger Tropfen einer Salzsäure ( $c = 1\text{ mol/L}$ ). Durch Betrachten der Lösungen unter UV-Licht können die Schüler eine grüne Fluoreszenz bei Azorubin S bzw. eine blaue bei Braun HT erkennen (Grund für die verschiedenfarbigen Fluoreszenzerscheinungen ist der unterschiedliche pH-Wert der Lösungen, vgl. Kap. 7.4). Hierdurch wird ein zusätzlicher Hinweis auf die Entstehung eines aromatischen Amins geliefert.

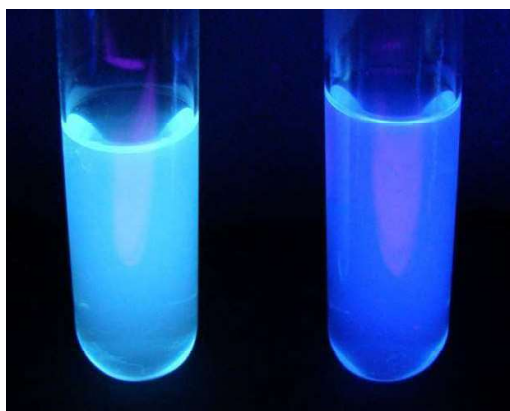


Abbildung 6.16.: Azorubin S- (links) und angesäuerte Braun HT-Lösung (rechts) nach Zugabe des Reduktionsmittels unter UV-Licht

### **b) Die unvollständige Reduktion von Biebricher Scharlach**

Die gewonnene Hypothese, dass bei der Reduktion einer Biebricher Scharlach-Lösung in Experiment 3 nur eine Azogruppe gespalten wird, kann zusätzlich durch Vergleich des Reaktionsverhaltens der resultierenden gelben Lösung mit dem einer Echtgelb-Lösung erzielt werden. Die Betrachtung der Strukturformeln zeigt, dass Echtgelb ein mögliches Produkt bei der Spaltung von nur einer Azogruppe des Biebricher Scharlach ist (vgl. Abb. 6.12 auf S. 120). Das identische Verhalten bei pH-Verschiebungen (reversibler Farbumschlag Gelb  $\longrightarrow$  Orange beim Ansäuern) liefert einen Beweis dafür, dass in Experiment 3 zunächst Echtgelb entstanden ist. Je nach Leistungsniveau der Schüler besteht darüber hinaus die Möglichkeit, Echtgelb zu synthetisieren (Exp. 5).

**Experiment 5: Synthese des Monoazofarbstoffes Echtgelb****Geräte und Chemikalien:**

Vier Reagenzgläser, 500-mL-Becherglas für ein Eisbad, 5-mL-Messpipette, Bunsenbrenner, Eis Sulfanilsäure, Natriumnitrit, Orthanilsäure, Natronlauge ( $c = 0.1 \text{ mol/L}$ ), Salzsäure ( $c = 4 \text{ mol/L}$ )

**Gefahr und Sicherheit:**

Natriumnitrit wirkt brandfördernd, ist giftig bei Verschlucken und umweltgefährdend; Entsorgung nach den Richtlinien. Salzsäure und Natronlauge wirken bei Hautkontakt ätzend. Sulfanilsäure und Orthanilsäure wirken bei Hautkontakt reizend. Bei fehlerhafter Durchführung können nitrose Gase entstehen. Wenn möglich, ist der Versuch im Abzug durchzuführen.

**Durchführung:****1. Diazotierung der Sulfanilsäure**

0.05 g Sulfanilsäure werden in einem Reagenzglas in 2.5 mL Natronlauge gelöst. In einem weiteren Reagenzglas werden 0.02 g Natriumnitrit gelöst. In einem dritten Reagenzglas werden 1.3 mL Salzsäure vorbereitet. Alle drei Reagenzgläser werden in einem Eisbad im Becherglas gekühlt. Nach 10 min wird die Natriumnitrit-Lösung zur Sulfanilsäure-Lösung zugegeben. Nun wird tropfenweise langsam die Salzsäure hinzugegeben. Hierbei darf die Temperatur  $5^{\circ}\text{C}$  nicht übersteigen. Der Ansatz wird anschließend weiter im Eisbad gekühlt.

**2. Kupplung mit Orthanilsäure**

0.05 g Orthanilsäure werden in 2.5 mL Natronlauge gelöst und für 5 min im Eisbad gekühlt. Anschließend wird die unter 1.) hergestellte Diazoniumsalz-Lösung hinzugegeben.

Das resultierende Gemisch wird bis zur Verfärbung (max. 15 Sekunden) über dem Bunsenbrenner erwärmt.

**Beobachtung:**

Während des Erwärmens färbt sich die Lösung orange. (Abb. 6.17) Sollten die eingesetzten Mengen nicht genau eingehalten worden sein, kann die resultierende Lösung alkalisch sein. In diesem Fall färbt sich die Lösung gelb.

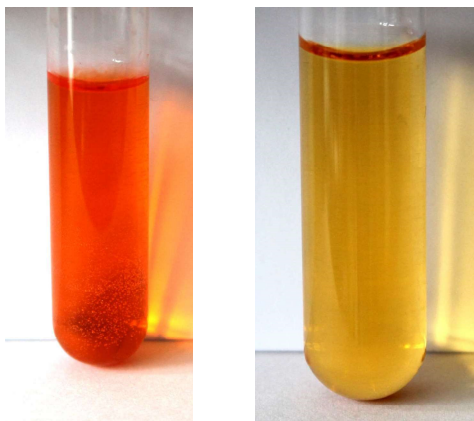


Abbildung 6.17.: Das Syntheseprodukt vor (links) und nach Verdünnen und Versetzen mit Natronlauge (rechts)

**Erklärung:**

Die Reaktion läuft nach dem Prinzip der Azokupplung ab (vgl. Abb. 3.16 auf S. 40). Probleme bei der Kupplung an die Orthanilsäure bereitet deren freie Aminogruppe. Diese reagiert durch ihre erhöhte Elektronegativität (im Vergleich zu Kohlenstoffatomen) und der dadurch höheren Elektronendichte sehr leicht mit Diazokomponenten zu sogenannten Triazenen. Sie sind thermisch instabil und können durch Erwärmen wieder in Amin und Diazoniumion zersetzt werden. Jedoch können im Verlauf dieses Prozesses Diazoniumsalz und Amin getauscht worden sein, was zu einer größeren Anzahl von Nebenprodukten führen kann. Darüber hinaus zersetzen sich auch viele Diazoniumionen während des Erwärmens, bevor sie zum gewünschten Produkt reagieren können. Die Ausbeute ist also insgesamt deutlich schlechter als z. B. in Experiment 9 aus Kapitel 5. Industriell wird dieses Problem durch das Einfügen einer Schutzgruppe an das freie Amin (z. B. Formaldehyd-Bisulfit-Addukt) vor der Kupplungsreaktion gelöst. Aus

schulpraktischer Sicht ist dies jedoch nicht umsetzbar, da die Synthese dadurch mehrstufig und komplex wird und/oder den Einsatz stark toxischer Chemikalien vorsieht. Abbildung 6.18 zeigt die Bildung von Triazenen aus freien Aminen und Diazoniumionen mit mechanistischen Details am Beispiel der in Experiment 5 verwendeten diazotierten Sulfanilsäure und der Orthanilsäure.

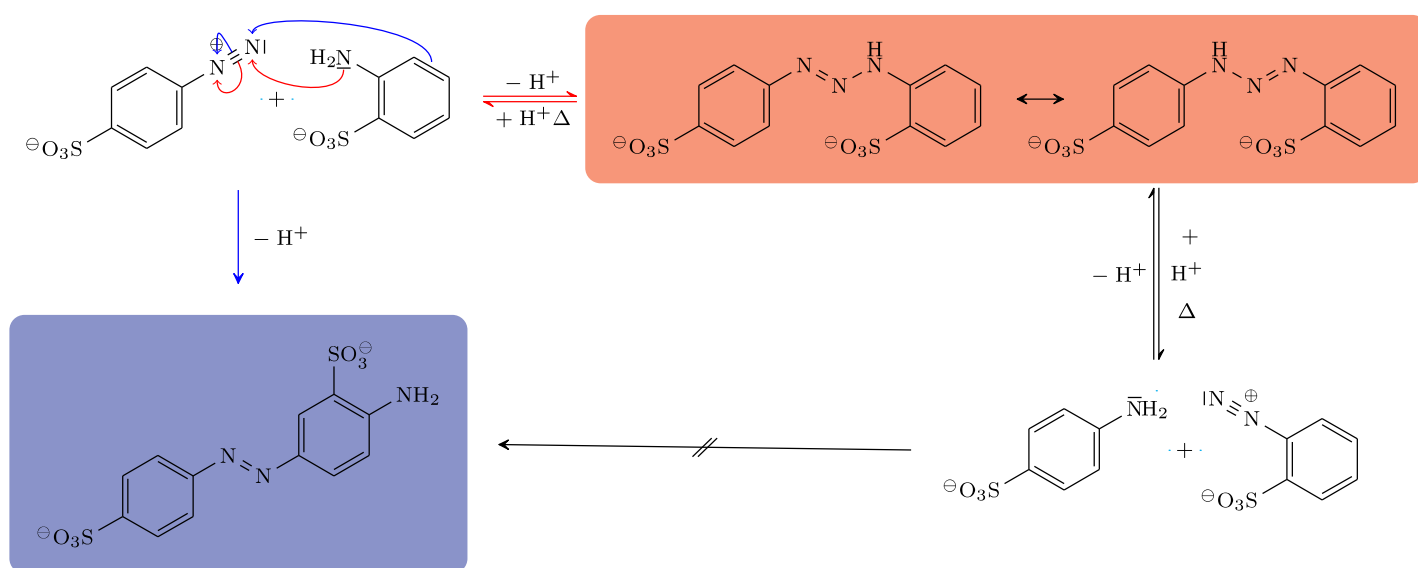


Abbildung 6.18.: Bildung von Triazenen im Verlauf der Synthesereaktion und deren (unerwünschte) Umlagerung

### 6.4.2. Anwendung des Gelernten

Um den Schülern die Möglichkeit zu geben, das im Rahmen des Unterrichtskonzepts erworbene Wissen anzuwenden, kann die Lehrkraft die Schüler beauftragen, sich mit einem fachlichen Text über Azofarbstoffe auseinanderzusetzen. Diese Aufgabe kann gleichzeitig als Lernerfolgskontrolle für die Lehrkraft dienen.

### **Azofarbmittel in Bedarfsgegenständen**

Azofarbmittel bilden mit weltweit etwa 1000 Stück die größte Gruppe der Farbstoffe. Sie werden in unlösliche Azopigmente und lösliche (hydrophile und lipophile) Azofarbstoffe unterteilt. Seit über 100 Jahren werden sie für die Einfärbung z. B. von Lebensmitteln, Textilien, Leder und Kosmetikprodukten verwendet. Darüber hinaus kommen sie u. a. in Tattoofarben, Plastik- und Gummiprodukten, Farben, Lacken und Druckerpatronen vor. Die Verwendung von Azofarbmitteln in Lebensmitteln und Bedarfsgegenständen ist gesetzlich geregelt. Diese Richtlinien verbieten die Verwendung von als gefährlich gekennzeichneten Azofarbmitteln sowie das Inverkehrbringen von mit diesen Azofarbmitteln gefärbten Erzeugnissen. In Lebensmitteln sind lediglich 10 Azofarbmittel erlaubt, darunter auch Azorubin S, das z. B. zum Einfärben von Erfrischungsgetränken eingesetzt wird. Untersuchungen deuten darauf hin, dass toxische Effekte bestimmter Azofarbstoffe vor allem auf die Freisetzung von aromatischen Aminen und nicht auf die Azofarbstoffe selbst zurückzuführen sind. Die reduktive Spaltung erfolgt z. B. in der Leber. Aber auch auf der Haut ist die bakterielle Zersetzung von Azofarbstoffen nachgewiesen. Dies betrifft vor allem hydrophile Azofarbstoffe, da die Bakterien zur mikrobiellen Reduktion eine wässrige Lösung des Farbstoffes benötigen. Hingegen werden lipophile Azofarbstoffe zumeist unverändert über die Haut aufgenommen. Die Spaltung in aromatische Amine findet dann innerhalb der Haut oder später in der Leber statt. Darüber hinaus ist die Resorption über die Haut zusätzlich abhängig von der Molekülgröße. Aufgrund der Vielzahl der Azofarbstoffe ist es schwierig, jeden einzelnen Farbstoff auf seine mögliche gesundheitsschädliche Wirkung zu untersuchen. Daher empfiehlt die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft, alle Azofarbmittel so zu handhaben, wie es ihren Aminkomponenten entspricht.

Abbildung 6.19.: Arbeitsmaterial zur Lernkontrolle und Vertiefung - verändert nach [53]

## Die Aufgabenstellung

Mit dem Arbeitsmaterial werden folgende Arbeitsaufträge erteilt:

1. Vergleiche die Strukturformeln von Azorubin S und Anilingelb. Welcher der beiden Azofarbstoffe ist hydrophil, welcher lipophil? Begründe deine Antwort.
2. In der Zeitschrift Öko-Test (Heft Februar 2013) wird die gesetzlich erlaubte Verwendung des Azofarbstoffes D&C Red 33 (Colour Index (CI) 17200) in Lippenstiften massiv kritisiert[54].
  - a) Recherchiere die Strukturformel von D&C Red 33 im Internet.
  - b) Warum lehnen Verbraucherschützer die Verwendung von D&C Red 33 in Lippenstiften ab? Versuche, eine chemische Begründung zu finden.
3. Lies nochmals den Artikel ‚Krebs durch schwarze Kleidung‘ aus der Zeitung ‚Die Welt‘ und bewerte die darin gemachten Aussagen.

## Die Lösungen

1. Hydrophile Azofarbstoffe tragen eine oder mehrere ionische Komponenten, meist Sulfonat-Gruppen. Azorubin S hat derer drei, wohingegen Anilingelb keine hat. Azorubin S ist also der hydrophilere Farbstoff.
2. Abbildung 6.20 zeigt die Strukturformel von D&C Red 33. Es ist gut zu erkennen, dass nach einer reduktiven Spaltung unter anderem Anilin entsteht. Ähnliches kennen die Schüler vom Azofarbstoff Orange G aus dem behandelten Unterrichtskonzept. Im Gegensatz zu Orange G erhielt der Azofarbstoff D&C Red 33 keine Auflagen bei der Verwendung in Kosmetikmitteln in der Neufassung der EU-Verordnung von 2009[52].



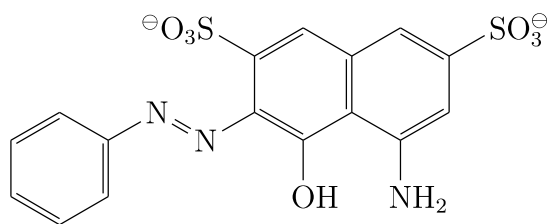


Abbildung 6.20.: Strukturformel von D&amp;C Red 33

3. In der Diskussion des Artikels in Abbildung 6.3 sollte auf die richtigen und die falschen Aussagen des Textes eingegangen werden. Zwar können Azofarbstoffe durch Schweiß und Reibung auf der Haut reduktiv in ihre aromatischen Amine gespalten werden. Diese sind jedoch nicht immer gesundheitsgefährdend, wie an manchen Stellen des Artikels suggeriert wird. Die Aussage „In Deutschland sind zwar Azofarbstoffe zum Färben von Gebrauchsgegenständen, also auch von Kleidung, verboten.“ ist falsch. Einige Azofarbstoffe sind in Deutschland gar in Lebensmitteln zugelassen. So findet beispielsweise Azorubin S Anwendung in Erfrischungsgetränken (vgl. auch Kap. 7).

## 6.5. Fächerübergreifende Möglichkeiten

Das Unterrichtskonzept bietet sehr gute Möglichkeiten, den Unterricht fächerübergreifend mit dem Fach Biologie zu gestalten. Gerade die mikrobiologischen Prozesse bei der Spaltung durch Hautenzyme, aber auch der Aufbau und die Funktionsweise der menschlichen Haut können im Rahmen des Unterrichtskonzepts thematisiert werden.

## **7. „Was fluoresziert denn da?“**

### **7.1. Motivation**

Fluoreszenzeffekte üben durch ihre Ästhetik eine große Faszination auf den Betrachter aus. So werden sie zum Beispiel wirksam bei Schwarzlichteffekten in Diskotheken, Shows und Events oder beim Einsatz von Neonfarben in Textmarkern, Lack- und Textilfarben oder leuchtenden Armreifen eingesetzt. Gemischt mit kriminologischen Elementen führt das Unterrichtskonzept die Schüler entlang ihres natürlichen Interesses an der Materie durch einige Inhalte der Schulchemie. Zusätzlicher Anreiz entsteht durch die Verwendung zahlreicher Alltagsgegenstände.

### **7.2. Vorbereitungen**

Vor der Durchführung des Unterrichtskonzepts muss die Klasse darauf hingewiesen werden, dass beim Einsatz von UV-Lampen darauf zu achten ist, die Haut nicht unnötig der Bestrahlung mit UV-Licht auszusetzen. Bei allen Experimenten sind Schutzbrillen mit UV-Filter zu tragen.

#### **7.2.1. Lernvoraussetzungen der Schüler**

Die Schüler sollten Redoxreaktionen anhand der Überprüfung von Oxidationszahlen erkennen können. Dies schließt mit ein, die Oxidationszahlen organischer Verbindungen bestimmen zu können.

### 7.2.2. Materialien

Für die Durchführung des Unterrichtskonzepts werden folgende Alltagsgegenstände benötigt:

- Badeperlen ‚Stressfrei‘ von Kneipp® (erhältlich z. B. im Online-Shop von Kneipp®)
- SauBär-Badewasserfarbe Rot (erhältlich z. B. bei dm®)
- Powerade ‚Wild Cherry‘ (erhältlich im Supermarkt)
- Litamin ‚Magische Momente‘ Creme-Schaumbad (erhältlich z. B. bei Rossmann®; alternativ: andere Schaumbäder mit dem Farbstoff Amaranth, CI:16185)



Abbildung 7.1.: Benötigte Produkte für die Durchführung des Unterrichtskonzepts

Darüber hinaus wird der Farbstoff Orange G (CI: 16230) sowie der Farbstoff Fluorescein in Form seines Dinatriumsalzes (genannt ‚Uranin‘, CI:45350) benötigt.

## 7.3. Didaktische Umsetzung

### 7.3.1. Einstieg

Als motivierenden Einstieg präsentiert die Lehrkraft den Schülern eine wässrige Lösung von einigen Badeperlen ‚Stressfrei‘ der Firma Kneipp®. Sodann wird diese mit UV-Licht bestrahlt

und auf die eindrucksvolle grüne Fluoreszenz aufmerksam gemacht.



Abbildung 7.2.: Wässrige Badeperlen-Lösung bei Tageslicht (links) und unter UV-Licht (rechts)

Die Lehrkraft gibt den Schülern die Information, dass der Farbstoff Fluorescein (Abb. 7.3), der in den Badeperlen enthalten ist, für diese Erscheinung verantwortlich ist. Sie teilt darüber hinaus mit, dass eben jenes Fluorescein auch in der Kriminologie eingesetzt wird, um Blutreste zu detektieren. Die Schüler erhalten den Auftrag, eine Versuchsbeschreibung zu kreieren, die auf Basis der Badeperlenlösung zur Detektion von Blut eingesetzt werden kann.

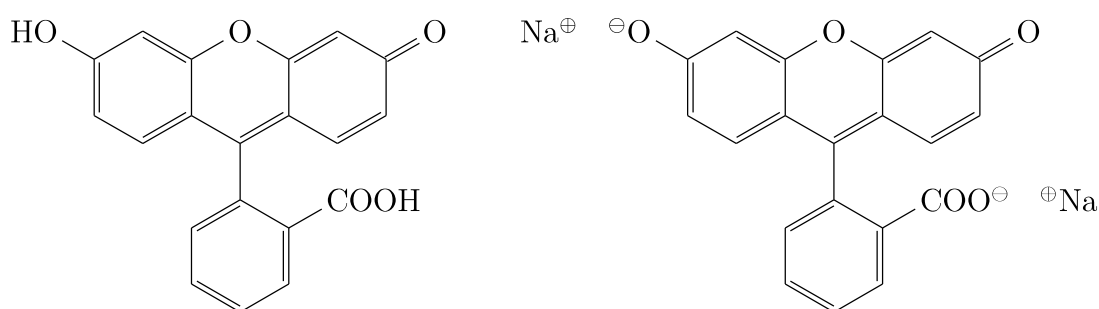


Abbildung 7.3.: Strukturformeln von Fluorescein (links) und seinem Dinatriumsalz Uranin (rechts)

### 7.3.2. Der Blutdetektor

Die Schüler erhalten mögliche Anleitungen zum Bau eines solchen Sets im Internet [55] oder in gängiger Fachliteratur [56]. Sie erfahren dabei, dass das Prinzip der Blutdetektion mit Hilfe des Farbstoffes Fluorescein auf folgenden Beobachtungen beruht:

1. Fluorescein wird reduziert und fluoresziert nicht mehr.
2. Fluorescein wird durch Wasserstoffperoxid-Lösung reoxidiert.

Schritt 2 erfolgt jedoch nur in Anwesenheit eines geeigneten Katalysators. Der Eisen(III)-Komplex Hämoglobin eignet sich hierfür, wodurch Fluorescein nur an den Stellen reoxidiert wird, an denen Blut vorhanden ist. Dies führt die Schüler zu ihrem ersten Experiment.

#### Experiment 1: Reaktion einer Badeperlen-Lösung mit einem Reduktionsmittel

##### Geräte und Chemikalien:

50-mL-Becherglas, zwei 50-mL-Erlenmeyerkolben, Reagenzglas, 10-mL-Messpipette, Spatel, UV-Lampe (Wellenlänge  $\lambda = 366 \text{ nm}$ ), Trichter, Filter

Badeperlen ‚Stressfrei‘ von Kneipp<sup>®</sup>, Zinkstaub, Eisessig, Ethanol

##### Gefahr und Sicherheit:

Ethanol und Zinkstaub sind leichtentzündlich, Zink ist darüber hinaus umweltgefährlich und fachgerecht zu entsorgen. Eisessig wirkt ätzend.

##### Durchführung:

In ein Reagenzglas werden 2 g Badeperlen und 10 mL Ethanol gegeben. Nach kurzem Schütteln ist die ethanolische Lösung orange und wird mittels Dekantieren in ein weiteres Reagenzglas gegeben. Anschließend werden 2 mL Eisessig und 1 g Zinkstaub zugegeben. Nach 3–4 min wird die Suspension abfiltriert.

**Beobachtung:**

Die Lösung hat sich entfärbt.

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

Das Fluorescein der Badeperlen lässt sich wie erwartet reduzieren.

**Erklärung:**

Zink wirkt als Reduktionsmittel und reduziert Fluorescein gemäß Abbildung 7.4.

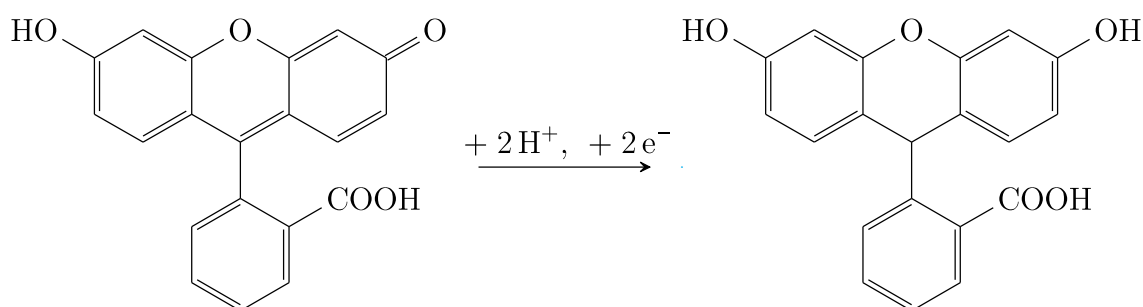


Abbildung 7.4.: Reduktion von Fluorescein

Bevor die Schüler versuchen das reduzierte Fluorescein zu reoxidieren, müssen sie sich vergewissern, dass die Reduktion in Experiment 1 vollständig abgelaufen ist. Kleinere Reste nicht reduzierten Fluoresceins könnten nach wie vor eine grüne Fluoreszenz der Lösung verursachen. Dies würde die Lösung für den Einsatz als Blutdetektorset unbrauchbar machen. Eine einfache Art, das zu überprüfen, ist die Betrachtung der Lösung unter UV-Licht. Hierbei stellen die Schüler überraschend fest, dass die Lösung nun *blau* fluoresziert.



Abbildung 7.5.: Badeperlen-Lösung nach der Reduktion bei Tageslicht (links) und unter UV-Licht (rechts)

Dieses Phänomen können die Schüler zunächst nicht erklären, was aber nichts an der Tatsache ändert, dass die von ihnen hergestellte Lösung als Blutdetektorset eingesetzt werden kann, sofern die vorgesehene Reoxidation (Exp. 2) funktioniert. Zwar fluoreszieren beim Einsatz ihrer Lösung nicht mehr nur die Stellen, an denen Blutreste sind, aber nur dort wird ihre Lösung grün fluoreszieren. Wenn kein Blut vorhanden ist, wird die Lösung ihre blaue Fluoreszenz unter UV-Licht beibehalten. Der Detektor würde also funktionieren. Die Schüler versuchen, das Fluorescein in ihrer bearbeiteten Badeperlen-Lösung gemäß der Anweisungen aus dem Internet oder der Fachliteratur unter dem katalytischen Einfluss von Kaliumhexacyanoferrat(III) (als Modellschubstanz für Blut) zu reoxidieren.

**Experiment 2: Reoxidation des Fluoresceins****Geräte und Chemikalien:**

Zwei 50-mL-Sprühflaschen, Reagenzgläser, Spatel, 10-mL-Messpipette

Reduzierte Badeperlen-Lösung aus Versuch 1, Wasserstoffperoxid-Lösung ( $w = 10\%$ ), Kaliumhexacyanoferrat(III), Wasser

**Gefahr und Sicherheit:**

Wasserstoffperoxid wirkt gesundheitsschädlich, ätzend und brandfördernd. Die Lösung aus Versuch 1 ist ethanolisch und somit leichtentzündlich.

**Durchführung:**

Eine Spatelspitze Kaliumhexacyanoferrat(III) (0.02 g) wird als Modellsubstanz für Blut in 2 mL Wasser gelöst. 1 mL dieser Lösung wird gemeinsam mit 5 mL der reduzierten Badeperlen-Lösung aus Experiment 1 in ein Reagenzglas gegeben. Anschließend werden 2 mL Wasserstoffperoxid-Lösung zugegeben. Die Lösung wird unter UV-Licht betrachtet.

Um dieses Experiment anwendungsbezogener zu gestalten, besteht die Möglichkeit, die Reaktion auf Oberflächen ablaufen zu lassen und damit der Kriminalistik nachzuempfinden. Hierzu werden eine Sprühflasche mit der reduzierten Badeperlen-Lösung aus Experiment 1 (Sprühflasche 1) und eine weitere mit Wasserstoffperoxid-Lösung (Sprühflasche 2) befüllt. Die Kaliumhexacyanoferrat-Lösung wird verteilt auf einer Oberfläche aufgetragen, die anschließend nacheinander mittels der Sprühflaschen 1 und 2 benetzt wird. Bei dieser Art der Durchführung sind Handschuhe zu tragen.

**Beobachtung:**

Die Lösung im Reagenzglas fluoresziert unter UV-Licht zunehmend grün. Die Oberfläche fluoresziert an den Stellen mit Kaliumhexacyanoferrat(III)-Lösung grün, an allen anderen blau.



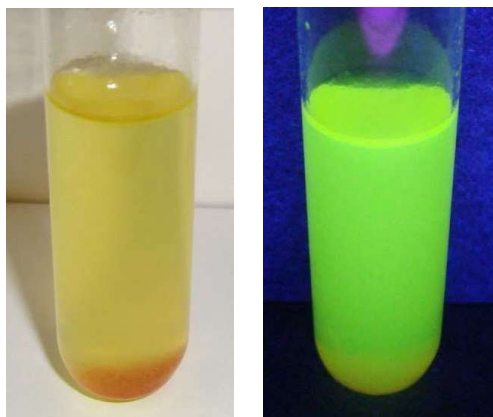


Abbildung 7.6.: Reoxidierte Badeperlen-Lösung bei Tageslicht (links) und unter UV-Licht (rechts)

### Deutung im Erkenntnisprozess:

Die reduzierte Badeperlen-Lösung kann im Sinne eines Einsatzes als Blutdetektor reoxidiert werden.

### Erklärung:

Fluorescein wird durch Wasserstoffperoxid reoxidiert (Abb. 7.7). Dies geschieht jedoch nur in Anwesenheit eines Katalysators, z. B. eines geeigneten Eisen(III)-Komplexes wie dem Hämoglobin oder den hier verwendeten Hexacyanoferrat(III)-Ionen.

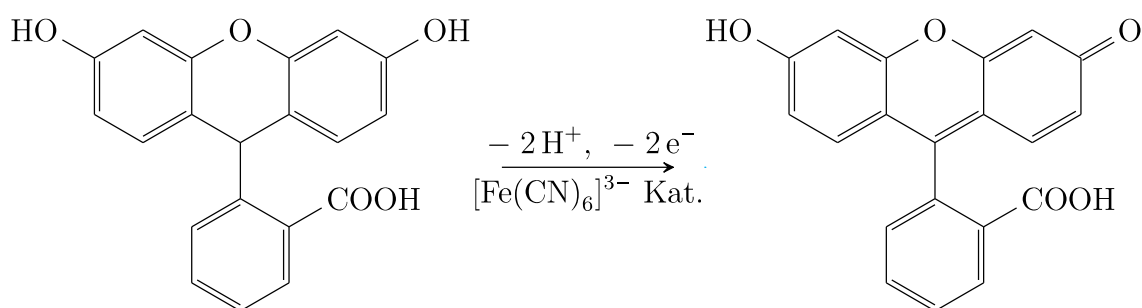


Abbildung 7.7.: Reoxidation des Fluoresceins

### 7.3.3. Aufklärung der blauen Fluoreszenz

Nun gilt es für die Schüler aufzuklären, warum die reduzierte Badeperlen-Lösung blau fluoresziert. Eine erste Idee könnte sein, dass reduziertes Fluorescein eben eine blaue Fluoreszenz aufweist. Um dies zu widerlegen, kann Experiment 1 mit einer reinen Fluorescein-Lösung durchgeführt werden. In diesem Fall wird keine Fluoreszenz auftreten. Daraus können die Schüler schließen, dass das beobachtete Phänomen auf einen anderen Inhaltsstoff der Badeperlen zurückzuführen sein muss. Unter denen befindet sich unter anderem ein weiterer Farbstoff: Cochenillerot A (Abb. 7.8).

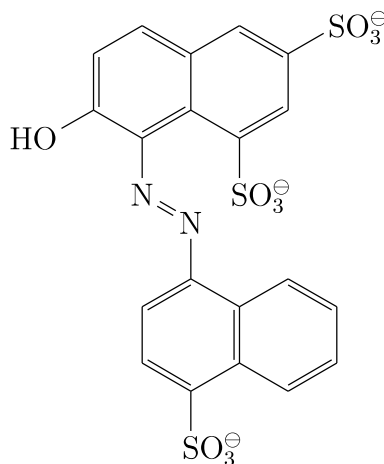


Abbildung 7.8.: Strukturformel von Cochenillerot A

Da die Lösung nach der Reaktion bei Tageslicht farblos ist, liegt die Vermutung nahe, dass zumindest der zweite Farbstoff auch reagiert hat. Die Schüler können die Hypothese aufstellen, dass eines der dabei entstehenden Produkte für die blaue Fluoreszenz verantwortlich ist. Zu ihrer Überprüfung kann Experiment 1 mit einer Lösung durchgeführt werden, die nur mit Cochenillerot A gefärbt ist. Eine solche Lösung, kann z.B. mit Hilfe der ‚SauBär Badewasserfarbe Rot‘ hergestellt werden.

**Experiment 3: Reaktion einer Cochenillerot A-Lösung mit Eisessig und Zinkstaub****Geräte und Chemikalien:**

Reagenzglas, 10-mL-Messpipette, Spatel, UV-Lampe (Wellenlänge  $\lambda = 366 \text{ nm}$ ), Trichter, Filter

SauBär Badewasserfarbe Rot, Zinkstaub, Eisessig, Wasser

**Gefahr und Sicherheit:**

Ethanol und Zinkstaub sind leichtentzündlich, Zink ist darüber hinaus umweltgefährlich und fachgerecht zu entsorgen. Eisessig wirkt ätzend.

**Durchführung:**

Ein kleines Stück einer Badewasser-Farbtabelle (0.3 g) wird in 5 mL Wasser in einem Reagenzglas gelöst. Anschließend werden 1 mL Eisessig und 0.5 g Zinkstaub zugegeben. Die Suspension wird abfiltriert und unter UV-Licht betrachtet.

**Beobachtung:**

Die Lösung entfärbt sich und fluoresziert unter UV-Licht blau.

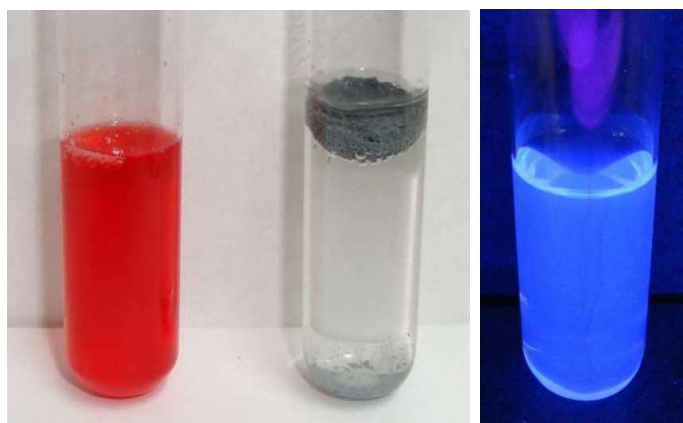


Abbildung 7.9.: Saubär Badewasserfarbe-Lösung (links) nach Zugabe von Eisessig und Zinkstaub bei Tageslicht (Mitte) und unter UV-Licht (rechts)

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

Die beobachtete blaue Fluoreszenz in Experiment 1 resultiert aus der Reaktion des Farbstoffes Cochenillerot A mit Eisessig und Zinkstaub.

---

Nun müssen die Schüler noch herausfinden, was bei der Reaktion von Cochenillerot A mit Zinkstaub und Eisessig passiert. Dass es sich bei der Reaktion ebenfalls um eine Reduktion handelt, ist zwar naheliegend, aber keineswegs gewiss. Um zu überprüfen, ob dies der Fall ist, können die Schüler die Reaktion von Cochenillerot A mit einem anderen Reduktionsmittel, z. B. Natriumdithionit, testen.

**Experiment 4: Reaktion von Cochenillerot A mit Natriumdithionit****Geräte und Chemikalien:**

Reagenzglas, 10-mL-Messpipette, Spatel, UV-Lampe (Wellenlänge  $\lambda = 366 \text{ nm}$ )

SauBär Badewasserfarbe Rot, Natriumdithionit, Wasser

**Gefahr und Sicherheit:**

Natriumdithionit wirkt gesundheitsschädlich bei Verschlucken.

**Durchführung:**

Die Badetabletten-Lösung wird wie in Experiment 3 angesetzt. Anschließend werden 0.5 g Natriumdithionit zugegeben. Die Lösung wird unter UV-Licht betrachtet.

**Beobachtung:**

Die Lösung entfärbt sich und fluoresziert unter UV-Licht blau.

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

Bei der Reaktion in Experiment 3 handelt es sich um eine Reduktion.

---

Damit ist das beobachtete Phänomen zwar kausal geklärt, die chemischen Prozesse und Reaktionen, die dabei ablaufen, sind dies jedoch noch nicht. Die Schüler sollen nun herausfinden, wie Cochenillerot A mit Reduktionsmitteln reagiert. Bei Betrachten der Strukturformel (Abb. 7.8) von Cochenillerot A stellen die Schüler fest, dass es sich um einen Azofarbstoff handelt. Zwei Möglichkeiten, die Themen ‚Azofarbstoffe‘ und ‚Reduktion von Azofarbstoffen‘ im Chemieunterricht umzusetzen, sind durch die Unterrichtskonzepte ‚Eine bärchenstarke Reduktion‘ (Kap. 5) und ‚Azofarbstoffe in Textilien‘ (Kap. 6) gegeben. Die kürzeste Variante zur Klärung liefert die Betrachtung der Oxidationszahlen. Die Stickstoffatome der Azogruppe  $\text{N}=\text{N}$  im Cochenillerot A-Molekül haben die Oxidationsstufe -I. Stickstoff präferiert als Element der 5. Hauptgruppe jedoch die Oxidationsstufe -III, wie sie den Schülern auch beispielsweise aus dem Ammoniakmolekül ( $\text{NH}_3$ ) bekannt ist. Hier kann also eine Reduktion

stattfinden. Tatsächlich werden Azofarbstoffe durch Reduktionsmittel in aromatische Amine ( $R-NH_2$ ) gespalten. Abbildung 7.10 zeigt die Reaktionsgleichung der reduktiven Spaltung des Farbstoffs Cochenilleroth A.

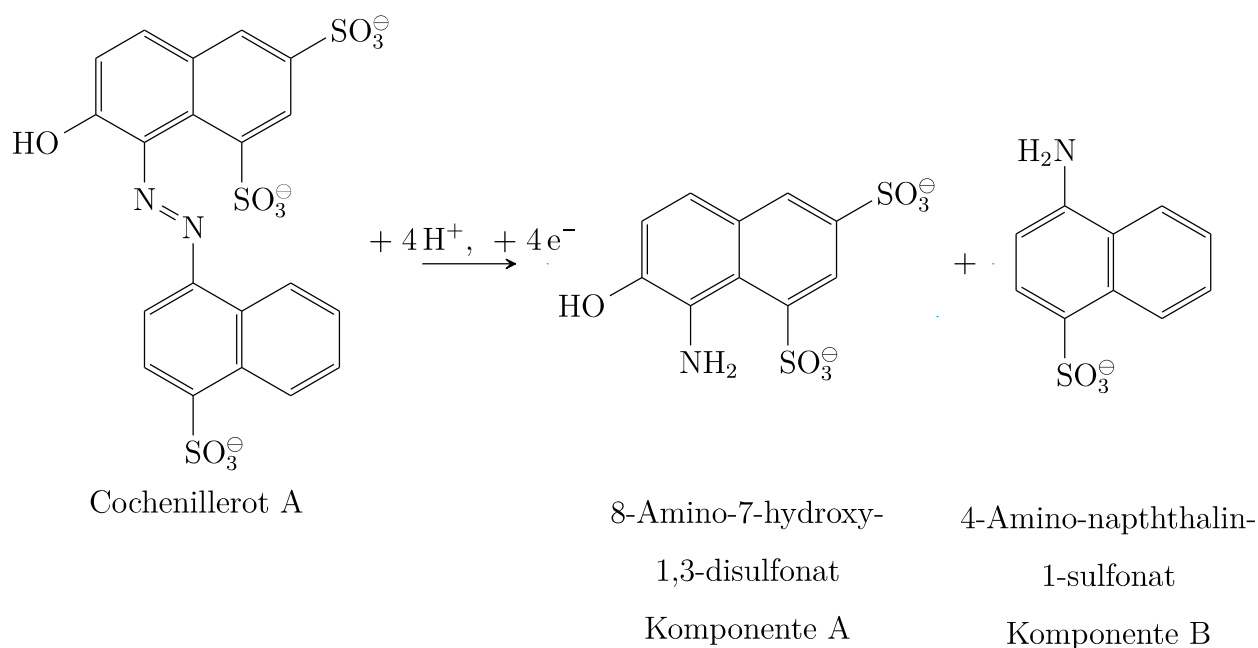


Abbildung 7.10.: Reduktive Spaltung des Azofarbstoffes Cochenillerot A

Dieser Umstand motiviert die Schüler zu einer weiteren Fragestellung. Bei der Reaktion entstehen zwei Produkte: 8-Amino-7-hydroxy-1,3-disulfonat und 4-Amino-naphthalin-1-sulfonat, auch Piria-Säure genannt. Die Frage ist, welches der beiden Produkte für die blaue Fluoreszenz verantwortlich ist oder ob gar beide die blaue Fluoreszenz verursachen. Da die Reinsubstanzen der beiden Stoffe schwer erhältlich sind (insbesondere Komponente A), scheidet deren Betrachtung in wässriger Lösung unter UV-Licht aus. Jedoch besteht für die Schüler die Möglichkeit andere Azofarbstoffe zu suchen, bei deren Spaltung nur eines der beiden Produkte aus Abbildung 7.10 entsteht. Um solche Azofarbstoffe zu finden, hilft die Suche in online verfügbaren Chemikalien-Datenbanken, die eine Struktureingabe als Suchfunktion zulassen. So bietet beispielsweise die Firma Merck® bei der Produktsuche eine solche Suchfunktion an.[57]

Eine einfache Internetrecherche liefert jedoch eine Vielzahl weiterer Möglichkeiten.[58][59] Abbildung 7.11 zeigt die Nutzung eines solchen Struktureditors zum Finden von Azofarbstoffen mit Teilkomponente A aus Abbildung 7.10.

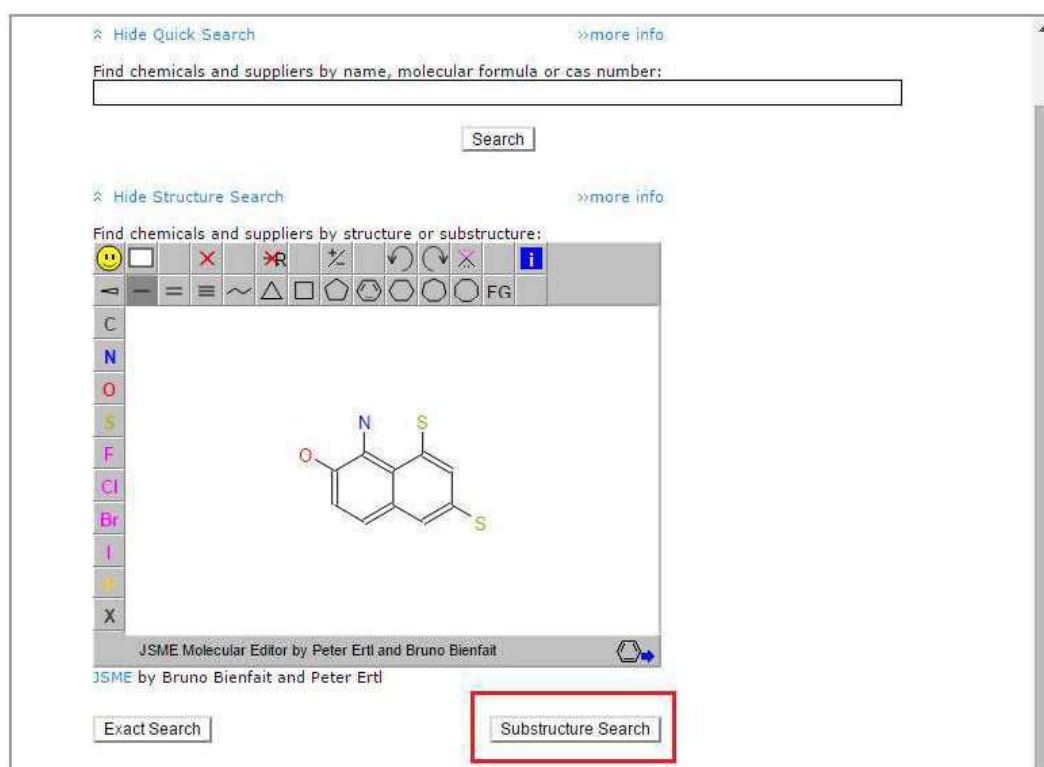


Abbildung 7.11.: Nutzung eines Struktureditors zum Finden von Azofarbstoffen mit Komponente A durch Teilstruktursuche (Substructure Search)[58]

Die Suche liefert eine Vielzahl von Treffern. Abbildung 7.12 zeigt einen Ausschnitt der ersten Seite der Ergebnisliste.

| Results |  |            | Results 1-20 of 56  |
|---------|--|------------|---|
|         |  |            | 1 2 3 Next  |
|         | Iupac name   | RN (CAS)   | Structure   |
|         | New Coccine  | 2611-82-7  | <br><chem>[Na+].[Na+].[Na+].[O-]S(=O)(=O)c1ccc2c(c1)c(c3cc(O)ccc3N2C4=CC=CC=C4)S(=O)(=O)O</chem>  |
|         | Orange G   | 1936-15-8  | <br><chem>[Na+].[Na+].[O-]S(=O)(=O)c1ccc2c(c1)c(c3cc(O)ccc3N2C4=CC=CC=C4)S(=O)(=O)O</chem>  |
|         | 7-Hydroxy-8-((4-sulphonyl)azo)-1,3-naphthalenedisulfonic acid, trisodium salt<br>Ccris 7442<br>Einecs 281-788-5<br>Trisodium 7-hydroxy-8-((4-sulphonatophenyl)azo)naphthalene-1,3-disulphonate | 84030-17-1 | <br><chem>[Na+].[Na+].[Na+].[O-]S(=O)(=O)c1ccc2c(c1)c(c3cc(O)ccc3N2C4=CC=C(C=C4)S(=O)(=O)O)S(=O)(=O)O</chem>                                |
|         | Einecs 280-942-9<br>Triammonium hydrogen 7-hydroxy-8-((4-((m-phosphonatophenyl)azo)-2-sulphonatophenyl)azo)naphthalene-1,3-disulphonate  | 83817-41-8 | <br><chem>[NH4+].[NH4+].[NH4+].[O-]S(=O)(=O)c1ccc2c(c1)c(c3cc(O)ccc3N2C4=CC=C(C=C4)N5C(=CC=C(C=C5)C6=CC=C(C=C6)S(=O)(=O)O)S(=O)(=O)O</chem> |
|         | 7-Hydroxy-8-((4-(phenylazo)phenyl)azo)naphthalene-1,3,6-trisulphonic acid, compound with 10-nonadecanamine (1:3)<br>Einecs 282-173-4   | 84100-96-9 | <br><chem>CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCNc1ccc(cc1)/N=N/c2ccc(cc2)/N=N/c3c4c(c5cc(ccc35)S(=O)(=O)O)C(=C(C=C4)O)C(=C(C=C4)O)S(=O)(=O)O</chem>          |

Abbildung 7.12.: Teil der Trefferliste der Teilstruktursuche nach Komponente A

Die Sortierung der Ergebnisse nach brauchbaren Treffern fördert Beobachtungs- und Schlussfolgerungskompetenzen der Schüler. Beispielsweise handelt es sich beim ersten Treffer mit Namen ‚New Coccine‘ lediglich um den Farbstoff Cochenillerot A unter anderem Namen. Dieser Farbstoff kommt also nicht in Frage. Der zweite Farbstoff hingegen schon. Abbildung 7.13 zeigt die Reaktionsgleichung einer reduktiven Spaltung des Farbstoffes Orange G. Es zeigt sich, dass



als Produkte Komponente A aus Abbildung 7.10 sowie Anilin entstehen.

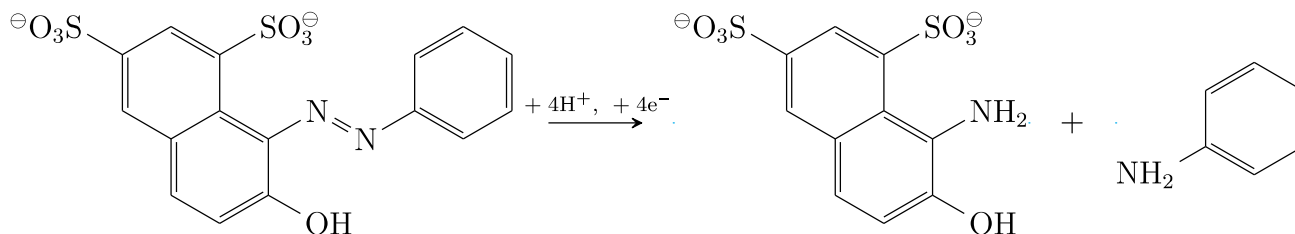


Abbildung 7.13.: Reduktive Spaltung von Orange G

Die Schüler sollen nun eine reduzierte Orange G-Lösung unter UV-Licht betrachten. Fluoresziert sie blau, ist (mindestens) Komponente A aus Abbildung 7.10 für die beobachtete blaue Fluoreszenz der reduzierten Badeperlen-Lösung verantwortlich.

### Experiment 5: Reduktion einer Orange G-Lösung

#### Geräte und Chemikalien:

Reagenzglas, 10-mL-Messpipette, Spatel, UV-Lampe (Wellenlänge  $\lambda = 366 \text{ nm}$ )

Orange G, Natriumdithionit, Wasser, Salzsäure ( $c = 1 \text{ mol/L}$ )

#### Gefahr und Sicherheit:

Da während der Reaktion kleinste Mengen Anilin entstehen, ist dieses Experiment als Lehrerexperiment durchzuführen.

#### Durchführung:

In 5 mL Wasser werden wenige Kristalle Orange G gelöst. Anschließend werden 1 mL Salzsäure und 0.05 g Natriumdithionit zugegeben. Die Lösung wird unter UV-Licht betrachtet.

#### Beobachtung:

Die Lösung entfärbt sich und zeigt unter UV-Licht *keine* Fluoreszenz.

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

8-Amino-7-hydroxy-1,3-disulfonat (Komponente A) ist nicht für das Phänomen der blauen Fluoreszenz verantwortlich.

Mit dieser Erkenntnis gewinnen die Schüler die Hypothese, dass die blaue Fluoreszenz von 4-Amino-naphthalin-1-sulfonat (Komponente B in Abb. 7.10) erzeugt wird. Der Nachweis hierfür erfolgt nach der gleichen Methode wie bei Komponente A. Da Piria-Säure als Reinsubstanz sowie in zahlreichen substituierten Derivaten erhältlich ist, sollte die Teilstruktursuche nach Azofarbstoffen durch die vollständige Zeichnung der Azogruppe eingeeengt werden (Abb. 7.14).

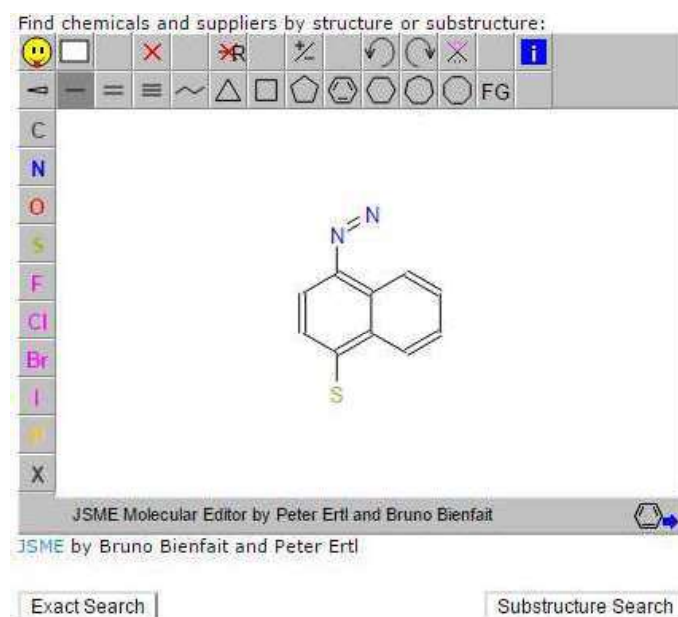


Abbildung 7.14.: Teilstruktursuche nach Komponente B

Die Liste der Treffer ist groß (über 150 Moleküle je nach verwendeter Datenbank). Abbildung 7.15 zeigt einen Teilausschnitt.

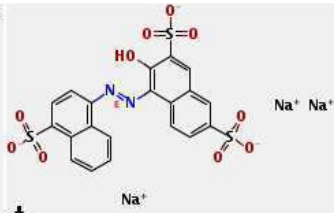
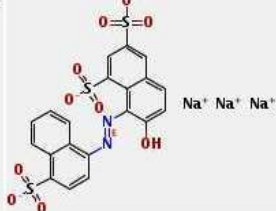



|   |   |
|---|---|
| <p>Amaranth</p>   | <p>915-67-3</p>     |
| <p>New Coccine</p>  | <p>2611-82-7</p>    |
| <p>3-Hydroxy-4-(2-hydroxy-4-sulfo-1-naphthylazo)naphthalene-2-carboxylic acid</p> | <p>3737-95-9</p>    |
| <p>Acid Red 88</p>  | <p>1658-56-6</p>  |
| <p>Calcon</p>   | <p>2538-85-4</p>  |

Abbildung 7.15.: Teil der Trefferliste der Teilstruktursuche nach Komponente B

Die Aufgabe, die Treffer in für den angedachten Zweck verwendbare und nicht verwendbare Farbstoffe einzuteilen, wird erschwert durch diverse Substituenten an der Komponente B bei einigen Treffern. So sind beispielsweise Treffer 1 und 4 in Abbildung 7.15 potenzielle Kandidaten, Treffer 3 und 5 hingegen nicht, da sie eine zusätzliche Hydroxygruppe an der gewünschten Teilkomponente haben. Um die Aufgabe des Erkennens geeigneter Azofarbstoffe zu vereinfachen und damit den Schülern die Abarbeitung einer großen Trefferliste zu ersparen,

könnte die Lehrkraft eine kleinere Liste von Azofarbstoffen anfertigen und den Schülern diese ‚reduzierte‘ Liste zur Selektion geeigneter Kandidaten geben. Neben den ‚falschen‘ Kandidaten aus Abbildung 7.15 könnte diese Liste unter anderem die Farbstoffe Eriochromblauschwarz B (Abb. 7.16a) oder Kongorot (Abb. 7.16b) enthalten.

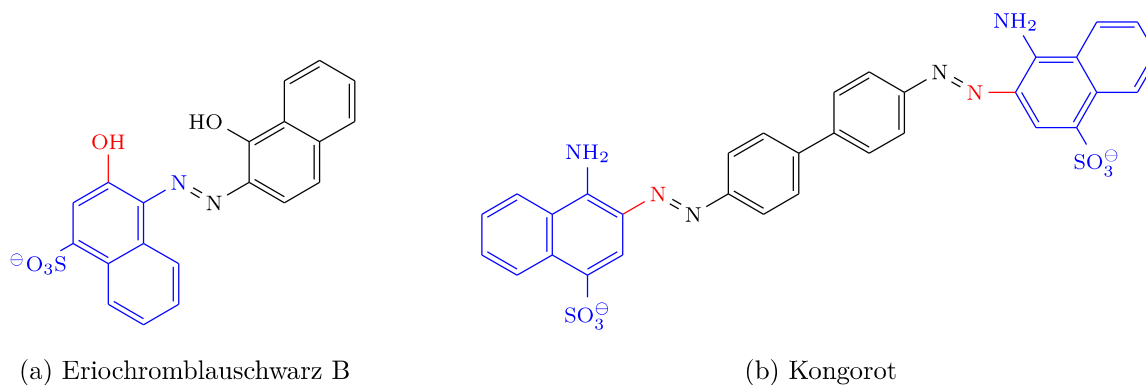


Abbildung 7.16.: Strukturformeln möglicher ‚ungeeigneter‘ Azofarbstoffe

Nach kurzer Zeit werden die Schüler die Aufgabe bewältigen und eine Liste passender Azofarbstoffe zusammengetragen haben. Diese sollte unter anderem die zugelassenen Lebensmittelfarbstoffe Amaranth (Abb. 7.17a) und Azorubin S (Abb. 7.17b) enthalten.

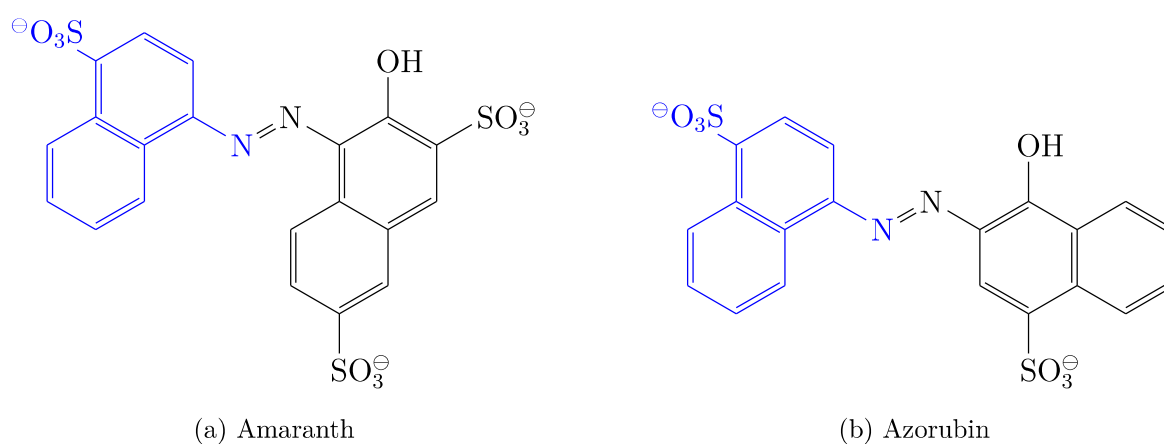


Abbildung 7.17.: Strukturformeln zweier ‚geeigneter‘ Azofarbstoffe

Diese beiden Farbstoffe werden in zahlreichen Alltagsgegenständen verwendet und können in diesen reduziert werden. So finden Azorubin im Erfrischungsgetränk Powerade® ‚Wild Cherry‘ und Amaranth im Creme-Schaumbad ‚Magische Momente‘ von Litamin® Verwendung. Mit Hilfe dieser beiden Produkte kann in den Experimenten 6 und 7 nun Komponente B aus Abbildung 7.10 auf blaue Fluoreszenz untersucht werden.

|  |
|--|
| <b>Experiment 6: Reduktion von Azorubin in Powerade® ‚Wild Cherry‘</b> |
|--|

**Geräte und Chemikalien:**

Reagenzglas, 10-mL-Messpipette, Spatel, UV-Lampe (Wellenlänge  $\lambda = 366 \text{ nm}$ )

Powerade® ‚Wild Cherry‘, Natriumdithionit

**Gefahr und Sicherheit:**

Natriumdithionit wirkt gesundheitsschädlich bei Verschlucken.

**Durchführung:**

In einem Reagenzglas werden 5 mL Powerade® ‚Wild Cherry‘ mit 0.02 g Natriumdithionit versetzt. Die Lösung wird unter UV-Licht betrachtet.

**Beobachtung:**

Die Lösung entfärbt sich und fluoresziert unter UV-Licht blau. (Abb. 7.18)

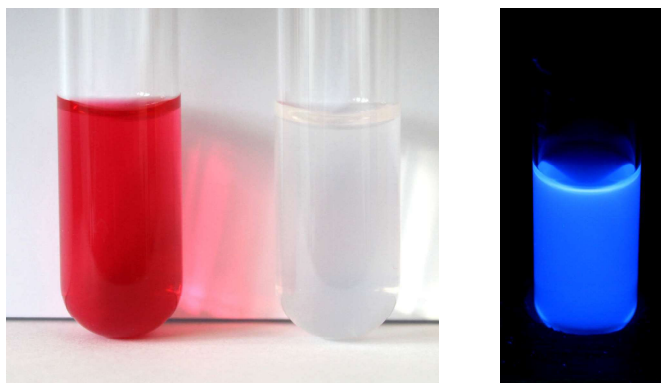


Abbildung 7.18.: Powerade® ‚Wild Cherry‘ vor und nach der Reduktion (links) und unter UV-Licht (rechts)

---

**Experiment 7: Reduktion von Amaranth im Creme-Schaumbad ‚Magische Momente‘ von Litamin®****Geräte und Chemikalien:**

Schnappdeckelglas, Glasstab, Pinsel, Filterpapier, Spatel, UV-Lampe (Wellenlänge  $\lambda = 366 \text{ nm}$ )  
Creme-Schaumbad ‚Magische Momente‘ von Litamin®, Natriumdithionit

**Gefahr und Sicherheit:**

Natriumdithionit wirkt gesundheitsschädlich bei Verschlucken.

**Durchführung:**

In einem Schnappdeckelglas werden 10 mL des Creme-Schaumbads mit 0.05 g Natriumdithionit versetzt und mit einem Glasstab gerührt. Das nun farblose bis leicht hellblaue Creme-Schaumbad wird mit einem Pinsel auf ein Filterpapier aufgetragen. Das Papier wird unter UV-Licht betrachtet.

**Beobachtung:**

Die Pinselstriche auf dem Filterpapier fluoreszieren blau.



Abbildung 7.19.: Blau fluoreszierende Schriftzüge auf Filterpapier

**Deutung im Erkenntnisprozess:**

Das bei der Reduktion entstehende 4-Amino-naphthalin-1-sulfonat fluoresziert unter UV-Licht blau und ist somit auch für die Erscheinung der blauen Fluoreszenz in Experiment 1 verantwortlich.

---

Mit diesen beiden Experimenten haben die Schüler das Phänomen der blauen Fluoreszenz forschend entwickelnd aufgeklärt. Damit endet das Unterrichtskonzept „Was fluoresziert denn da?“. Kapitel 7.4 bietet Ergänzungsmöglichkeiten.

## **7.4. Ergänzungsmöglichkeiten**

### **7.4.1. Theorie der Fluoreszenz**

Obgleich für die Durchführung des Unterrichtskonzepts keine theoretischen Hintergründe zur Fluoreszenz behandelt werden müssen, können sie im Rahmen des Unterrichtskonzepts besprochen werden. Zu diesem Zweck wird im Folgenden ein kurzer Überblick der Theorie gegeben.

Wie farbige Stoffe (vgl. Kap. 3) sind fluoreszierende Stoffe in der Lage, elektromagnetische Wellen bestimmter Wellenlängen zu absorbieren. Die meisten Farbstoffmoleküle geben die durch die Absorption gewonnene Energie in Form von Wärme oder in kleinen Schritten beim ‚Durchlaufen‘ zahlreicher Schwingungsniveaus ab. Bei manchen Stoffen sind zwischen den Schwingungsniveaus der einzelnen Zustände (Grundzustand, angeregter Singulettzustand etc.) größere Energieunterschiede zu finden. Um nach der Anregung durch die Absorption wieder in den Grundzustand zurückkehren zu können, müssen sie selbst einen etwas größeren Energiebetrag in Form einer elektromagnetischen Welle abgeben. Diese hat jedoch einen deutlich kleineren Energiebetrag (also eine höhere Wellenlänge) als die absorbierte Welle. Daher ist es bei einigen Stoffen möglich, dass sie nicht-sichtbares Licht aus dem UV-Bereich



( $\lambda \leq 400\text{nm}$ ) absorbieren und sichtbares Licht ( $\lambda \geq 400\text{nm}$ ) emittieren. In diesem Fall tritt Fluoreszenz auf. Der Unterschied zwischen absorbiertem und emittiertem Licht wird durch die sogenannte Stokes-Verschiebung hervorgerufen. Sie wurde 1852 vom Physiker Sir George Gabriel Stokes entdeckt. Für dieses Phänomen sind nach der Anregung zwei unterschiedliche Effekte verantwortlich. Der erste Effekt geht auf die unterschiedlichen vibronischen Zustände des Moleküls in den unterschiedlichen Anregungszuständen zurück. Beim Übergang eines Elektrons aus dem Grundzustand in einen angeregten Zustand behält es nach dem Franck-Condon-Prinzip[60] nur selten seinen vibronischen Zustand bei. Gleiches gilt für den Rücksprung in den Grundzustand. Dies wird - vereinfacht ausgedrückt - durch die hohe Geschwindigkeit der Anregung hervorgerufen. Sie sorgt dafür, dass das Elektron eher seinen Abstand zum Kern (und das damit einhergehende Energieniveau) als seinen vibronischen Zustand beibehält. In den meisten Fällen wird der Rücksprung energetisch kleiner als der Übergang in den angeregten Zustand (vgl. Abb. 7.20).

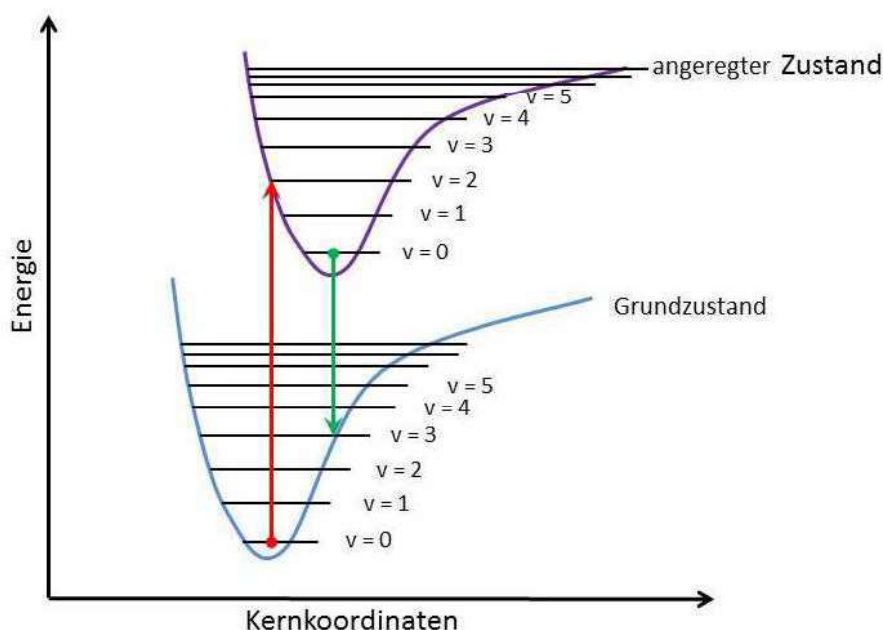


Abbildung 7.20.: Energieunterschied zwischen Anregung (rot) und Relaxation (grün) eines Elektrons durch verschiedene vibronische Zustände

Der zweite - und meist deutlich stärkere - Effekt beruht auf dem Einfluss des Lösungsmittels. Ohne Anregung liegt der fluoreszierende Farbstoff (Fluorophor) im Grundzustand vor, an dessen Dipolmoment sich die Lösungsmittelmoleküle orientieren. Insgesamt ist das System ‚Fluorophor-Grundzustand im Lösungsmittel‘ energetisch am günstigsten. Durch die Anregung des Fluorophors wird dessen Dipolmoment verändert (meist erhöht). Dies hat zur Folge, dass die Lösungsmittelmoleküle nicht mehr in der energetisch günstigsten Anordnung zum Fluorophor ausgerichtet sind. Dadurch wird der energetische Zustand des Systems aus Fluorophor und Lösungsmittelmolekülen zusätzlich erhöht. Die Neuordnung der Lösungsmittelmoleküle an das Dipolmoment des angeregten Fluorophors geschieht deutlich schneller als der Rücksprung in den Grundzustand des Fluorophors, wodurch der energetische Zustand des Systems leicht sinkt. Nach dem anschließenden Rücksprung sind jedoch die Lösungsmittelmoleküle nicht mehr energetisch ideal am Fluorophor angeordnet, der sich nun wieder im Grundzustand befindet.

Das System hat einen energetisch höheren Zustand als vor der Anregung. Insgesamt ist also die emittierte Energie der Relaxation kleiner als die absorbierte bei der Anregung (Abb. 7.21).

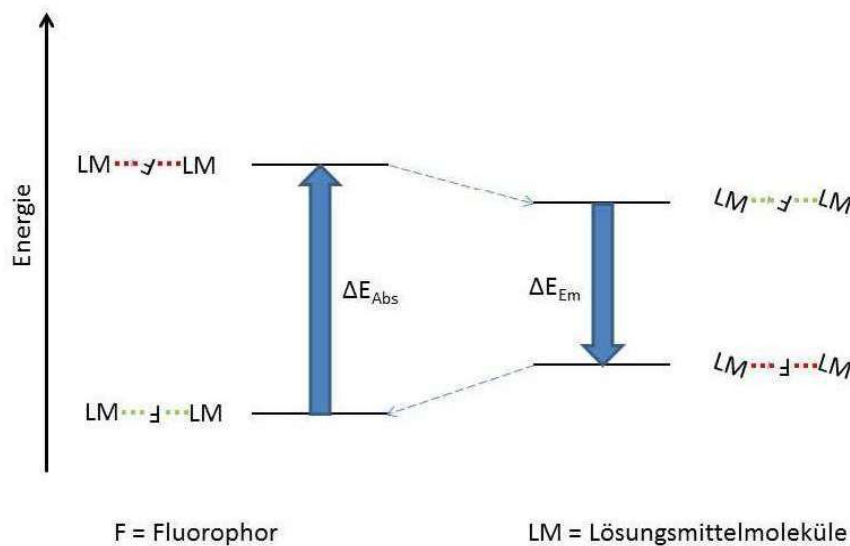
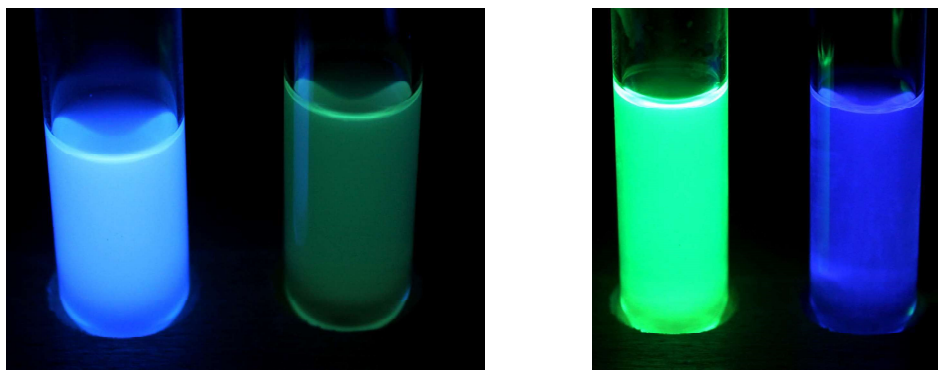


Abbildung 7.21.: Lösungsmiteinfluss auf den Unterschied zwischen absorbierte und emittierter Energie

Um diese theoretischen Hintergründe auch experimentell zu verdeutlichen, können verschiedene Farbeffekte bei Fluoreszenzen, die auf den Hintergründen der Stokes-Verschiebung beruhen, aufgezeigt werden. Die Farbe einer Fluoreszenz lässt sich entweder durch Verschiebung des Absorptionsmaximums (ähnlich wie z. B. pH-Verschiebung bei normalen Indikatorfarbstoffen) oder durch Veränderung des Unterschieds zwischen absorbierte und emittierter Energie durch Veränderung des Lösungsmittels beeinflussen. Als Beispiele seien die pH-Verschiebung der Piria-Säure (Abb. 7.22a) und die unterschiedliche Fluoreszenz von Pyranin in wässriger bzw. ethanolischer Lösung (Abb. 7.22b) genannt. Weitere Informationen zu diesem Thema ist in [61] zu finden.



(a) Pirasäure-Lösung in unterschiedlichen pH-Bereichen unter UV-Licht  
 (b) wässrige (links) und ethanolische (rechts) Pyranin-Lösung unter UV-Licht

Abbildung 7.22.: Experimentelle Beobachtung der Stokes-Verschiebung

Da bei fluoreszierenden Stoffen ein größerer Quantensprung bei der Relaxation eines Elektrons aus der Anregung notwendig ist, sind nur relativ starre Moleküle, die die Energie des angeregten Elektrons nicht so leicht in Form von Wärme und Schwingung abgeben können, in der Lage zu fluoreszieren. Abbildung 7.23 zeigt einige Strukturformeln fluoreszierender Stoffe.

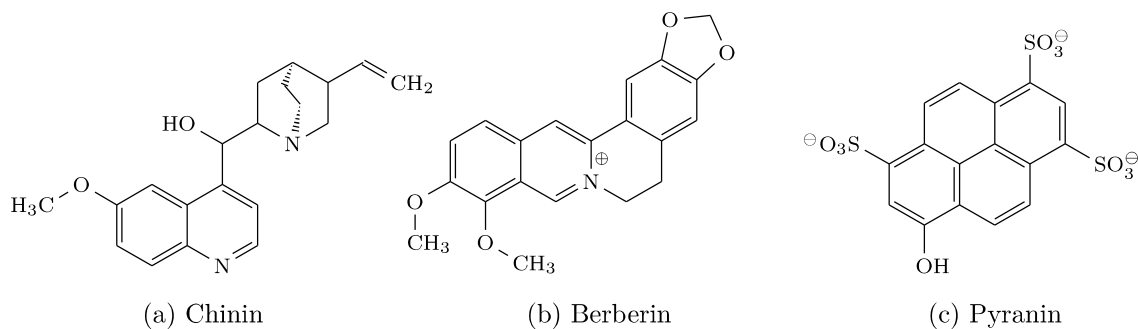


Abbildung 7.23.: Strukturformeln fluoreszierender Farbstoffe

## 8. Umsetzung und Evaluation im Schülerprojekt ‚Make Science!‘

Die vier vorgestellten Unterrichtskonzepte wurden im Projekt ‚Make Science!‘ mit Schülergruppen gemischter Klassen oder einzelnen bestehenden Klassenverbänden der Sekundarstufe II erprobt und evaluiert. Das Projekt und die Ergebnisse der Evaluation sollen im Folgenden vorgestellt werden.

### 8.1. Das Projekt ‚Make Science!‘

Das Projekt startete im Herbst 2012 an der Pädagogischen Hochschule (PH) Karlsruhe und diente gleichermaßen als außerschulischer Lernort für Schüler wie auch zur Erprobung neu entwickelter Unterrichtskonzepte. Die Kurse erstreckten sich über sechs Termine à zwei Stunden, die folgendermaßen gegliedert waren:

- **1. Termin:** Kennenlernen der Räumlichkeiten, Sicherheitsunterweisung, Durchführung des Pretests der Evaluation, einfache Experimente zum Eingewöhnen
- **2. Termin:** Kurze Vermittlung theoretischer Grundlagen, Einteilung der Schüler in vier Gruppen, motivierender Einstieg in die vier Unterrichtskonzepte für *alle* Gruppen in Form eines Stationenlernens, Einteilung der vier Gruppen auf die vier Unterrichtskonzepte
- **3.-5. Termin:** Durchführung der Unterrichtskonzepte in den Gruppen

- **6. Termin:** Präsentation der Ergebnisse der einzelnen Gruppen für die anderen Kursteilnehmer, Durchführung des Posttests der Evaluation, Verabschiedung

Neben der inhaltlichen Erschließung der Unterrichtskonzepte wurde im Projekt großer Wert auf das selbstständige Arbeiten der Schüler gelegt. Die Studenten der PH Karlsruhe, die den Gruppen zur Betreuung zugeordnet waren, waren dazu angehalten, die Impulse zur Durchführung des Unterrichtskonzepts auf ein Minimum zu begrenzen und, wenn möglich, auf Impulse der Schülergruppen einzugehen. Das Projekt legte zusätzlich ein großes Augenmerk auf fachgerechten Medieneinsatz bei Recherche und Dokumentation. Jeder Gruppe stand ein Tablet zur Verfügung, mit dessen Hilfe Fragestellungen im Internet recherchiert oder Fotos und Videos von Experimenten zur verbesserten Dokumentation aufgenommen werden konnten. Die Präsentation der Ergebnisse am letzten Kurstag konnte mithilfe des gesammelten Bildmaterials der Gruppen sowie den Tablets und weiterer moderner Präsentationsausrüstung auf technisch und fachlich anspruchsvollem Niveau realisiert werden.

Die Arbeitsatmosphäre während der Kursdurchführung wurde bewusst entspannt gehalten. Insgesamt sollte den Schülern das Gefühl eines Forschungslabors an Stelle eines Unterrichtsorts suggeriert werden. Das bedeutete, dass Schüler freigestellt waren, Häufigkeit und Dauer von Pausenzeiten selbst festlegten. Benötigte Chemikalien für Experimente besorgten sich die Schüler oftmals selbstständig aus dem Chemikalienlager (unter Beobachtung der betreuenden Studenten).



Abbildung 8.1.: Impressionen aus dem Projekt ‚Make Science!‘

## 8.2. Statistische Auswertung der Fragebögen und Reflexion der Ergebnisse

### 8.2.1. Allgemeines

Die Evaluation diene vorrangig dem Zweck, die Wirksamkeit der im Projekt verwendeten Unterrichtskonzepte hinsichtlich der Förderung von Interesse, Motivation und Kompetenzen

zu untersuchen. Darüber hinaus können einige der erhobenen Daten als Beitrag zu weiteren Diskussionsthemen dienen.

Die Fragebögen sind im Anhang zu finden. Die Kurse wurden durch einen Test vor (Pretest) und nach (Posttest) der Durchführung der Unterrichtskonzepte evaluiert. Die Bögen waren folgendermaßen gegliedert:

#### 1. Pretest

- Interesse an Schulthemen der Chemie aus dem aktuellen Lehrplan Baden-Württembergs [2]
- Beliebtheit der Unterrichtsmethoden des Chemieunterrichts
- Freizeitinteresse an chemischen Themen
- Relevanz der Chemie im Alltag: persönlich und allgemein
- Persönliche Einschätzung des eigenen Leistungspotenzials im Schulfach Chemie

#### 2. Post-Test

- Interesse an Schulthemen der Chemie aus dem aktuellen Lehrplan Baden-Württembergs [2]
- Beliebtheit der Unterrichtsmethoden des Chemieunterrichts
- Freizeitinteresse an chemischen Themen
- Relevanz der Chemie im Alltag: persönlich und allgemein
- Persönliche Einschätzung des eigenen Leistungspotenzials im Schulfach Chemie
- Wahrnehmung des Projektkurses hinsichtlich Schwierigkeitsgrad und Motivation
- Wissensfragen (Multiple Choice)

Zum Zeitpunkt der Fertigstellung der vorliegenden Arbeit betrug die Teilnehmerzahl an der Evaluation  $n = 87$  Schüler, davon 52 Mädchen und 35 Jungen. Die Häufigkeiten aller Antworten zu jeder Frage der Bögen sind im Anhang zu finden. Zur Überprüfung einiger Hypothesen



wurden anstelle der Ergebnisse einzelner Fragen eines Blocks (z. B. die Fragen zu den einzelnen Schulthemen des Lehrplans im Block ‚Schulthemen‘) die Mittelwerte der Antworten in diesem Block verwendet. Dies geschah nur bei offensichtlicher und/oder statistisch ausreichender Reliabilität der Fragen ( $\alpha_c \geq 0.6$ ).

### 8.2.2. Ergebnisse des Pretests

#### Interesse an Schulthemen

Das Interesse an folgenden Schulthemen wurde untersucht:

- Aufbau der Moleküle in Natur und Umwelt sowie ihre chemischen Reaktionen
- Aufbau und Herstellung von Kunststoffmolekülen
- Chemische Gleichgewichte
- Erzeugung elektrischer Energie aus chemischen Reaktionen
- Reaktionsenergien und ihre Berechnung
- Bedeutung von Aromaten in der Natur und ihre Gesundheitsgefährdung

Die Antwortmöglichkeiten wurden abgebildet im Zahlenspektrum 1-4 mit folgenden Bedeutungen:

- 1 - sehr viel Interesse
- 2 - ein wenig Interesse
- 3 - eher kein Interesse
- 4 - gar kein Interesse

Das durchschnittliche Interesse an Schulthemen lag bei den untersuchten Kursgruppen bei einem Mittelwert (MW) von 2.08 (Tab. 8.1).

|                    |         |        |
|--------------------|---------|--------|
| N                  | Gültig  | 86     |
|                    | Fehlend | 1      |
| Mittelwert         |         | 2.0789 |
| Median             |         | 2.0000 |
| Standardabweichung |         | 0.460  |
| Spannweite         |         | 2.00   |
| Minimum            |         | 1.14   |
| Maximum            |         | 3.14   |

Tabelle 8.1.: Interesse der Schüler an Schulthemen insgesamt vor Kursdurchführung

Am beliebtesten waren die Themen ‚Bedeutung und Gesundheitsgefährdungen der Aromaten‘ (MW: 1.53) und ‚Aufbau der Moleküle in Natur und Umwelt sowie ihre chemischen Reaktionen‘ (MW: 1.84). Am wenigsten interessant fanden die Schüler das Berechnen von Reaktionsenergien (MW: 2.80). Dies kann als Hinweis auf das Interesse der Schüler an Themen, die zu ihrer persönlichen Umwelt und in ihrem Alltag Bezug haben, betrachtet werden.

### Freizeitinteresse und Bewusstsein der Relevanz der Chemie für Umwelt und Alltag

Beim Freizeitinteresse wurden die Schüler nach ihrer Aktivität in folgenden Bereichen gefragt:

- Fernsehsendungen, die sich mit Chemie beschäftigen
- Internetrecherchen zu chemischen Fragestellungen
- Gespräche mit Freunden über Chemie
- Chemie-Experimentierkästen

- Nachdenken über Beobachtungen von chemischen Alltagsprozessen

Das Bewusstsein über die Relevanz der Chemie für Umwelt und Alltag wurde in zwei Fragen zur Relevanz der Chemie allgemein und drei Fragen zur persönlichen Relevanz der Chemie abgefragt. Die Skalen gingen in beiden Fällen (nach entsprechender Umkodierung negativ orientierter Fragestellungen) von  $1 \hat{=}$  ‚beschäftige mich sehr gern mit/ist sehr wichtig‘ bis  $4 \hat{=}$  ‚beschäftige mich überhaupt nicht damit/ist unwichtig‘.

Das Freizeitinteresse der Schüler an Chemie schnitt mit einem Mittelwert von 2.75 vergleichsweise schlecht ab (Tab. 8.2). Am meisten beschäftigten sich die Schüler in ihrer Freizeit noch in Gesprächen mit Freunden (MW: 2.58) mit Chemie oder durch Nachdenken über Beobachtungen chemischer Prozesse in ihrem Alltag (MW: 2.36).

|                    |         |         |
|--------------------|---------|---------|
| N                  | Gültig  | 86      |
|                    | Fehlend | 1       |
| Mittelwert         |         | 2.7523  |
| Median             |         | 2.8000  |
| Standardabweichung |         | 0.58961 |
| Spannweite         |         | 2.80    |
| Minimum            |         | 1.20    |
| Maximum            |         | 4.00    |

Tabelle 8.2.: Freizeitinteresse der Schüler an Chemie insgesamt

Dem entgegen steht das Bewusstsein der Schüler über die Bedeutung der Chemie sowohl im Alltag und in der Industrie (Mittelwert: 1.49) als auch für sie persönlich (Mittelwert: 2.03). Hieraus folgt insgesamt, dass die Schüler trotz der Erkenntnis einer persönlichen Relevanz und allgemeinen Bedeutung chemischer Themen sich nicht oder nur wenig in ihrer Freizeit damit beschäftigen. Diese Beobachtung deckt sich mit anderen empirischen Untersuchungen.[16]

### Selbsteinschätzung des Leistungspotenzials

Die Schüler wurden mittels verschiedener Fragen nach ihrer Selbsteinschätzung bezüglich ihrer praktischen und theoretischen Fähigkeiten im Fach Chemie befragt. Nach Umkodierung einiger Fragen gehen die Skalen von 1  $\hat{=}$  ‚fällt mir leicht / bin ich gut‘ bis 4  $\hat{=}$  ‚fällt mir schwer / bin ich schwach‘.

Die Teilnehmer des Projekts schätzten ihre eigenen Leistungen im Fach Chemie mit einem Mittelwert von 1.98 relativ gut ein (Tab. 8.3).

|                    |         |         |
|--------------------|---------|---------|
| N                  | Gültig  | 86      |
|                    | Fehlend | 1       |
| Mittelwert         |         | 1.9779  |
| Median             |         | 1.9167  |
| Standardabweichung |         | 0.54962 |
| Spannweite         |         | 2.33    |
| Minimum            |         | 1.00    |
| Maximum            |         | 3.33    |

Tabelle 8.3.: Selbsteinschätzung des Leistungsvermögens im Fach Chemie

Diese Selbsteinschätzung kann darauf zurückgeführt werden, dass die Kursteilnahme oftmals auf ‚freiwilliger‘ Basis mit eigenständiger Anmeldung stattfand, was tendenziell leistungsstärkere und motivierte Schüler in die Kurse brachte.

### Genderuntersuchungen

Bei Betrachtung der Korrelationen zwischen Geschlecht und Ergebnissen des Pretests ist lediglich die Betrachtung der Selbsteinschätzung des Leistungspotenzials interessant. Aufgrund der kleinen Zahl an Werten wird hier ein einfacher Mittelwertvergleich zur Einschätzung herangezogen (Tab. 8.4)

| Geschlecht | Mittelwert | N  | Std.-Abweichung |
|------------|------------|----|-----------------|
| männlich   | 1.7667     | 35 | 0.53352         |
| weiblich   | 2.1229     | 51 | 0.51702         |
| Insgesamt  | 1.9779     | 86 | 0.54962         |

Tabelle 8.4.: Mittelwerte des selbst eingeschätzten Leistungspotenzials der Schüler nach Geschlecht

Die Korrelation ‚selbst eingeschätztes Leistungspotenzial  $\longleftrightarrow$  Geschlecht‘ weist einen Spearmankoeffizienten von  $\rho_s = 0.309$  auf. Unter Vorbehalt aufgrund der kleinen Datenmenge ist zu beobachten, dass Mädchen ihre Leistung tendenziell schlechter einschätzten. Diese Beobachtung ist ein weiterer Hinweis auf ein gemeinhin bekanntes Problem: Mangelndes Selbstbewusstsein von Mädchen in MINT-Fächern.[62]

### 8.2.3. Ergebnisse des Posttests

#### Bewertung der Kurse durch die Schüler

Im vorletzten Teil des Posttest-Fragebogens beantworteten die Schüler eine Reihe von Fragen zum vergangenen Kurs. Sie wurden hinsichtlich des empfundenen Schwierigkeitsgrades, des Verhältnisses von Theorie und Praxis, der Struktur der Unterrichtskonzepte sowie der Gesamteindrücke des Laborkurses befragt. Darüber hinaus hatten sie am Ende des Bogens die Möglichkeit, ein paar Worte zu schreiben und dem Kurs eine Schulnote von 1 bis 6 zu geben. Sowohl die Struktur der Inhalte als auch ihr Schwierigkeitsgrad fanden bei den Schülern großen Anklang. Im Schnitt bewerteten die Schüler die Struktur auf einer Skala von 1  $\hat{=}$  ‚gut/logisch strukturiert‘ bis 4  $\hat{=}$  ‚schlecht/unlogisch strukturiert‘ mit 1.5469. Die Skala der Fragen zum Schwierigkeitsgrad reicht ebenfalls von 1  $\hat{=}$  ‚Inhalte waren sehr gut verständlich‘ bis 4  $\hat{=}$  ‚Inhalte waren zu kompliziert zum Folgen‘. Die Schüler bewerteten die Fragen zum Schwierigkeitsgrad des Kurses im Schnitt mit 1.7083. Auch wenn, wie bereits erwähnt, durch

die freiwillige Basis der Projektkurse tendenziell leistungsstärkere Schüler an den Kursen teilgenommen haben, können diese beiden Werte als Erfolg der Unterrichtskonzepte betrachtet werden. Auch die Durchschnittsnote (1.53), die die Schüler dem Kurs gegeben haben, spricht für das Interesse und die Freude, die die Schüler bei der Durchführung der Unterrichtskonzepte hatten.

Tabelle 8.5 zeigt eine Übersicht der Durchschnittsnoten, die die Schüler gegeben haben, sortiert nach dem jeweiligen Unterrichtskonzept, das sie im Kurs durchgeführt haben.

| Unterrichtskonzept         | Durchschnittsnote |
|----------------------------|-------------------|
| Was fluoresziert denn da?  | 1.51              |
| Bärchenstarke Reduktion    | 1.44              |
| Magische Stifte            | 1.67              |
| Azofarbstoffe in Textilien | 1.49              |
| Insgesamt                  | 1.53              |

Tabelle 8.5.: Durchschnittliche Note für den Laborkurs nach durchgeführtem Unterrichtskonzept

Interessant ist hierbei eine genderspezifische Betrachtung. Tabelle 8.6 zeigt den Zusammenhang.

| Unterrichtskonzept         | Durchschnittsnote der Jungen | Durchschnittsnote der Mädchen |
|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Was fluoresziert denn da?  | 1.38                         | 1.64                          |
| Bärchenstarke Reduktion    | 1.30                         | 1.58                          |
| Magische Stifte            | 1.31                         | 1.92                          |
| Azofarbstoffe in Textilien | 1.50                         | 1.45                          |
| Insgesamt                  | 1.35                         | 1.65                          |

Tabelle 8.6.: Durchschnittsnote des Kurses nach Unterrichtskonzept und Geschlecht

Zwar können aufgrund der Nähe aller Ergebnisse zueinander nur schwer quantitative Aussagen getroffen werden, aber es fällt dennoch auf, dass das Unterrichtskonzept der ‚Azofarbstoffe in Textilien‘ bei Mädchen in Relation zu den anderen Ergebnissen mehr Anklang fand als bei den Jungen. Dieses Ergebnis stimmt überein mit einigen Beobachtungen der Kontextabhängigkeit des Interesses von Mädchen an MINT-Themen. So interessieren sich Mädchen oft mehr für naturwissenschaftliche Hintergründe zu Naturphänomenen oder medizinischen Auswirkungen.[63] Das Unterrichtskonzept ‚Azofarbstoffe in Textilien‘ befasst sich intensiv mit der potenziell kanzerogenen Wirkung einiger Azofarbstoffe (vgl. Kap. 6) und fällt damit in letztere Kategorie.

### Beantwortung der Wissensfragen

Die Schüler mussten im Rahmen der Evaluation auch sieben inhaltliche Fragen zu den behandelten Themen im Multiple-Choice-Verfahren beantworten. Da am letzten Kurstag die unterschiedlichen Gruppen den anderen Schülern ihre Ergebnisse präsentierten (vgl. Kap. 8.1), waren alle Schüler theoretisch in der Lage, jede Frage korrekt zu beantworten. Die Schüler beantworteten insgesamt durchschnittlich 73% der Fragen richtig. Tabelle 8.7 gibt eine Übersicht nach Einteilung der erzielten Prozentzahlen in Gruppen.

| Richtige Antworten in % | Häufigkeit | % der Teilnehmer |
|-------------------------|------------|------------------|
| 81 – 100                | 39         | 48.8             |
| 61 – 80                 | 16         | 20.0             |
| 41 – 60                 | 23         | 28.8             |
| 21 – 40                 | 1          | 1.3              |
| 0 – 20                  | 1          | 1.3              |
| Gesamt                  | 80         | 100.0            |

Tabelle 8.7.: Häufigkeiten der Prozentzahlen richtiger Antworten der Schüler auf die Wissensfragen

### 8.2.4. Vergleich Pretest und Posttest

#### Das Interesse an Themen der Schulchemie

Das durchschnittliche Interesse an den Themen der Schulchemie hat sich im Verlauf der Kurse nur leicht verändert (Tab. 8.8).

|                 | Durchschnittliches<br>Interesse davor | Durchschnittliches<br>Interesse danach |
|-----------------|---------------------------------------|--|
| Mittelwert      | 2.0789                                | 2.1292                                 |
| N               | 86                                    | 80                                     |
| Std.-Abweichung | 0.4646                                | 0.52099                                |

Tabelle 8.8.: Durchschnittliches Interesse der Schüler an Themen der Schulchemie vor und nach dem Kurs

Der kleine Anstieg des Wertes (also die leichte Senkung des Interesses der Schüler) wird bei Betrachtung der Werte nach einzelnen Themen etwas deutlicher. So stieg das Interesse der Schüler bei den Themen ‚Reaktionsenergien berechnen‘ leicht an (2.80 auf 2.65), wohingegen das Interesse an der ‚Bedeutung von Aromaten‘ in der Natur leicht absank (1.53 auf 1.74). Letzteres ist wohl damit zu erklären, dass Schüler gegebenenfalls vor Kursdurchführung den Begriff ‚Aromat‘ als ‚Geschmacksträger‘ fehlinterpretierten. Auf die Art und Weise wäre es für die Schüler ein Thema mit hohem Alltagsbezug. Im Verlauf der Kurse wurde mehrfach angesprochen, was ‚Aromaten‘ in der Chemie sind. Dies macht den Begriff für die Schüler abstrakter und weniger greifbar.

#### Freizeitinteresse

Das durchschnittliche Freizeitinteresse ist leicht angestiegen (Tab. 8.9).



|                 | Durchschnittliches<br>Freizeitinteresse<br>davor | Durchschnittliches<br>Freizeitinteresse<br>danach |
|-----------------|--|---|
| Mittelwert      | 2.7523   | 2.6900  |
| N               | 86   | 80  |
| Std.-Abweichung | 0.58961  | 0.66134   |

Tabelle 8.9.: Mittelwerte des durchschnittlichen Freizeitinteresses der Schüler an Chemie

### **Selbsteinschätzung des Leistungspotenzials / Relevanz der Chemie allgemein und persönlich**

Das Selbstbewusstsein der Schüler bezüglich der Chemie hat sich im Verlauf der Projektkurse kaum verändert (Tab. 8.10).

|                 | Durchschnittliche<br>Leistungseinschät-<br>zung davor | Durchschnittliche<br>Leistungseinschät-<br>zung danach |
|-----------------|---|--|
| Mittelwert      | 2.3128  | 2.3042   |
| N               | 86  | 80   |
| Std.-Abweichung | 0.54920   | 0.61725  |

Tabelle 8.10.: Mittelwerte der durchschnittlichen Selbsteinschätzung der Leistung der Schüler in Chemie

Dieses Ergebnis ist mit Sicherheit auf den recht hohen Ausgangswert zurückzuführen. Die Betrachtung der einzelnen Fragen zur Relevanz der Chemie allgemein wie auch für die Schüler persönlich lässt hingegen ein paar weitere Erkenntnisse zu. So antworteten die Schüler nach Durchführung des Kurses mit erhöhter Zustimmung auf die Frage nach der Relevanz der

Chemie für ihren potentiellen späteren Beruf (MW davor: 2.44, MW danach: 2.39) ebenso wie auf die Frage zur Relevanz der Chemie im Alltag (MW davor: 1.42, MW danach: 1.36) und für die Industrie (MW davor: 1.55, MW danach: 1.48).

## **Unterrichtsmethoden**

Auch nach den Kursen war das Experiment als Unterrichtsmethode am beliebtesten. Dabei konnte sogar der Grad der Beliebtheit weiter erhöht werden (MW davor: 1.33, MW danach: 1.23). In den Bögen wurde auch die Beliebtheit der didaktischen Methode des forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahrens abgefragt. Die Auswertung zeigt einen leichten Anstieg der Beliebtheit der Methode im Kursverlauf. (MW davor: 1.92, MW danach: 1.80).

### **8.2.5. Beantwortung der Forschungsfrage und Diskussion**

In diesem Kapitel soll die Forschungsfrage beantwortet werden, inwiefern die Laborkurse des Projekts ‚Make Science!‘ und damit auch die darin durchgeführten Unterrichtskonzepte das Interesse der Schüler an Chemie in Schule und Alltag beeinflusst hat. Das größte Problem bei der Erhebung dieser Daten ist neben der vergleichsweise kleinen Datenmenge von nur 87 Schülern die Vorselektion der Teilnehmer. Wie bereits erwähnt, fanden die Kurse für die Schüler auf freiwilliger Basis statt, was zu einem außergewöhnlich hohen Anteil an (im Fach Chemie) leistungsstarken und interessierten Schülern führte. Die dadurch entstehenden guten Werte des Pretests (vgl. Kap. 8.2.2) machen es schwierig, signifikante Unterschiede hinsichtlich Interesse und Motivation festzustellen. Daher sind auch kleineren Veränderungen gegebenenfalls eine größere Bedeutung zuzumessen. Unter dieser Prämisse kann festgestellt werden, dass sich sowohl hinsichtlich der Wissensvermittlung als auch hinsichtlich der Förderung der Begeisterung für Chemie die erwünschten Tendenzen in der statistischen Erhebung zeigen. Aufgrund der kleinen Unterschiede zwischen Pre- und Posttest ist jedoch die Intensität der gewünschten Förderungen der Unterrichtskonzepte schwer festzustellen. Zur Bestätigung der hier beob-

achteten Tendenzen müssen in unabhängigen Klassenverbänden weitere Daten erhoben werden.

### 8.3. Erfahrungsbericht des Kursleiters

Das Projekt ‚Make Science!‘ fand unter den Schülern großen Anklang. Abgesehen von den bekanntermaßen positiven Effekten durch z. B. eine neue Lernumgebung, alternative Arbeitsweisen zum ‚normalen‘ Schulunterricht etc. konnte das Projekt die Schüler vor allem mit den Inhalten überzeugen. Aus Sicht einer Lehrkraft waren die Unterrichtskonzepte didaktisch sehr erfolgreich und leicht anwendbar. Insbesondere die Unterrichtskonzepte der ‚bärchenstarken Reduktion‘ und ‚Was fluoresziert denn da?‘ erzeugten durch das integrierte selbstständige Herausfinden der Fragestellung zu Beginn des Unterrichtskonzepts eine sehr hohe Motivation. Die Schüler verspürten sichtlich den Drang, die beobachteten Phänomene wissenschaftlich zu erklären und sie dabei inhaltlich zu verstehen. Bei der Möglichkeit der Fragebögen, Lob und Kritik in eigenen Worten auszuformulieren, wurde gar mehrfach von den Schülern angegeben, dass sie bisweilen einen höheren Theorieanteil im Laborkurs wünschen würden.

Obwohl es den Schülern jederzeit freigestellt war, eine Pause einzulegen oder gar den Labornachmittag zu beenden, verzichteten die meisten Gruppen auf eine Pause und machten des öfteren ‚Überstunden‘. Die Durchführung der Unterrichtskonzepte war bei den meisten Gruppen ohne große Einflussnahme durch die Betreuer möglich. Die Schüler kamen selbstständig auf nahezu alle Ideen der Unterrichtskonzepte und brauchten lediglich den einen oder anderen Hinweis für die experimentellen Nachweise ihrer Hypothesen. Darüber hinaus brachten die Schüler auch zahlreiche eigene Ideen mit ein. Neben konkreten theoretischen Lösungsvorschlägen bestanden diese auch aus Experimentiervorschlägen. Sofern sie realisierbar waren, wurden diese auch umgesetzt, was teilweise zu erfolgreichen Teilergebnissen führte. Die forschende Arbeitsweise inklusive des eigenständigen Beschaffens der Chemikalien sowie auch das Durchführen einiger einfacher Versuche ohne Versuchsanleitung – der Realität echter Forschungslabore bestmöglichst nachempfunden – begrüßten die Schüler ebenso sehr wie das Arbeiten mit neuesten

Medien zu Recherche- und Dokumentationszwecken. Die Möglichkeit, durch Dokumentation und Medieneinsatz Kenntnisse der Schüler, die sie sich größtenteils in ihrer Freizeit aneignen (‚Foto-AG‘, Umgang mit Tablet-PCs etc), mit einbringen zu können, motivierte die Schüler zusätzlich.

Die Schüler entwickelten im Verlauf der Laborkurse zunehmend mehr Selbstvertrauen im experimentellen Arbeiten und zeigten verbesserte Kompetenzen in Sicherheitsaspekten, Ausführung, und Interpretation der Experimente und deren Ergebnisse.

## 9. Zusammenfassung und Ausblick

Die empirisch belegte Unbeliebtheit des Schulfachs Chemie [19] ist auf den ersten Blick ein nicht zu erklärendes Phänomen. Das Fach Chemie bietet Abwechslung zu anderen Schulfächern durch chemiespezifische Unterrichtselemente, wie beispielsweise das Experiment. Darüber hinaus behandelt es die Grundlagen vieler Themen, die für die Gesellschaft und insbesondere auch für die Schüler nach deren eigener Aussage von großer Relevanz sind.[16]

Ein bekanntes Hauptproblem der Schüler liegt im Abstraktionsniveau vieler theoretischer Inhalte. Deren Erarbeitung fällt den Schülern oftmals schwer. Darüber hinaus ist ihnen die Notwendigkeit der Inhalte zur Erklärung einiger Naturphänomene nicht immer ersichtlich. Neuere Forschungsergebnisse konnten aber zeigen, dass - insbesondere bei abstrakteren Inhalten - kontextorientierte Zusammenhänge einen positiven Einfluss auf die Lernerfolge der Schüler haben.[21] Das gesteigerte Interesse führt zu erhöhter Aufmerksamkeit, besserer Behaltensleistung und tieferer kognitiver Verarbeitung.[64]

Einen vielversprechender Ansatz für die Verbesserung des Chemieunterrichts bietet daher der Einsatz aktueller Forschung, Konsumprodukte oder anderer Alltagssituationen, die den Schülern aus ihrem täglichen Leben bekannt sind. Durch die Nutzung dieser Elemente als motivierenden Einstieg einer Einheit und einer anschließenden, problemorientierten Entwicklung der Erklärungen und damit der Inhalte können positive Effekte (z.B. Schülerinteresse) verstärkt und negative Effekte (z.B. Inhalte ohne ‚erkennbare‘ Bedeutung) reduziert werden.

Ein weiterer Faktor zur Motivation der Schüler in MINT-Fächern sind Erfolgserlebnisse, z. B. durch die erfolgreiche Durchführung einfacher Experimente.[29] Hingegen führen misslingende oder inhaltlich unmotivierte Experimente schnell zu Frustration.

Das Thema ‚Farbstoffe‘ der vorliegenden Arbeit bietet fraglos eben jenen hohen Alltagsbezug. Zusammen mit der Ästhetik der Experimente bietet das Thema daher eine gute Grundlage zur Erstellung schülerorientierter Unterrichtskonzepte. In der chemiedidaktischen Konzeption der Unterrichtseinheiten wurde verstärkt darauf geachtet, alle oben beschriebenen Aspekte der Motivations- und Interessensförderung zu integrieren. Die resultierende sachlogische Struktur gemäß dem forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren hilft Schülern, sich schulchemisch relevante Inhalte selbstständig und intrinsisch motiviert zu erarbeiten.

Neben den Vorteilen für die Schüler bieten die vorliegenden und erstmalig erfolgreich erprobten Unterrichtskonzepte auch praktische Vorteile für die Lehrkräfte:

- Der Einsatz von Alltagsprodukten macht die Chemikalienbeschaffung erheblich günstiger. Auch die Mengen, die eingesetzt werden, sind sehr klein.
- Die sachlogische Struktur der Unterrichtskonzepte vereinfacht die methodische und didaktische Planungsarbeit der Einzelstunden erheblich.
- Durch die hohe Zahl an Alltagsprodukten sind Gefährdungsbeurteilungen oftmals mit minimalem Aufwand verbunden.

Alle in dieser Arbeit vorgestellten Erfahrungen (Projekt ‚MakeScience!‘, Resonanz bei Lehrerfortbildungen, Vorträgen oder Workshops etc.) weisen darauf hin, dass die vorliegenden Unterrichtskonzepte einen Beitrag dazu leisten können, das Schulfach Chemie beliebter und für ein breiteres Schülerspektrum zugänglich zu machen.

Diese Ergebnisse bieten die Grundlage für weitere Forschungsarbeiten in folgenden Bereichen:

- Weitere empirische Untermauerung der Effizienz und Wirksamkeit der vorgestellten Unterrichtskonzepte sowie eine tiefer gehende Analyse möglicher Zusammenhänge zwischen Erfolg der Unterrichtskonzepte und diversen Schülerattributen (Geschlecht, Vorkenntnisse etc.).
- Die Etablierung der vorliegenden Unterrichtskonzepte im Schulalltag durch intensivierte Verbreitung in Lehrerfortbildungen etc.

- Eine intensivere Betrachtung der Vermittlung von Kompetenzen effizienter Informationsbeschaffung, die im Rahmen der vorliegenden Unterrichtskonzepte gefördert werden und deren Beachtung durch die jüngeren Ergebnisse des International Computer and Information Literacy Study (ICILS)-Tests [65] stark zugenommen hat.
- Die Gestaltung weiterer kontextorientierter, sachlogisch strukturierter Unterrichtskonzepte sowie deren Erstevaluation im Projekt ‚Make Science!‘.

# Danksagung

Der Aufwand, den die vorliegende Arbeit im Verlauf ihrer Entstehung verursachte, wäre für einen Menschen alleine gar nicht zu bewältigen gewesen. Dass ich in diesem Moment an den letzten Zeilen dieser Arbeit tüfteln darf, verdanke ich einer ganzen Reihe von Menschen.

Ich möchte mich in erster Linie bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Ducci bedanken, dessen Einsatz und fachliche Expertise mir unzählige Male geholfen haben. Sowohl den Willen als auch die Zeit dazu habe ich nie als selbstverständlich angesehen. Herzlichen Dank.

Ebenso gilt mein Dank dem gesamten Institut für Chemie der PH Karlsruhe. In netter Gesellschaft von Dr. Kirstin Brezesinski, Dr. Wolfgang Schmitz, Dr. Uta Beck, Martina Niemöller und Sonja Seiler ist die Forschungsarbeit auch in schwierigen Phasen leicht gefallen. Vielen Dank dafür.

Im Zusammenhang mit schwierigen Phasen muss ich auch meine Familie nennen. Gerade in diesen Phasen waren sie es, die mich angeschoben haben und mich ermutigten die Arbeit voran zu treiben. Insbesondere in der finalen Phase waren sie neben dem Rückhalt auch immer Ansprechpartner und jederzeit hilfsbereit. Ohne die letzten Sonderschichten im Büro meines Bruders Rolf, dem entspannten Gequatsche mit meiner Schwester Sabine, den mahnenden Antrieben meiner Mutter und der analytischen Ursachenforschung in Problemzeiten meines Vaters wäre diese Arbeit wohl noch in den Kinderschuhen.

Trotz aller Freude an der Forschung und dem Willen zur Bewältigung etwaiger Problemfelder: Das eine oder andere Gespräch und der eine oder andere Abend zur Ablenkung taten sehr gut. Ohne Freunde in seinem Rücken ist eine solche Arbeit eben auch nicht zu bewältigen. Auch wenn es manchmal nur darum ging, ein bisschen herum zu jammern und zu klagen. Ihr wart



mit Wachrüttlern und Schulterklopfen gleichermaßen zur Stelle. Ein besonderer Dank geht dabei an Alice und Alex, die schon im Studium zum Erfolg meines akademischen Werdegangs beitrugen und deren Hilfe auch bei der Anfertigung dieser Arbeit unverzichtbar war.

Zu guter Letzt lässt sich mein Dank für meine Freundin Isabel kaum in Worte fassen. Deine Geduld und Aufopferungsbereitschaft war ein wichtiger Eckpfeiler und mir stets ein Antrieb. Danke.

# Literaturverzeichnis

- [1] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UNTERRICHT UND KULTUS: *Jahrgangsstufen-Lehrplan Bayern*
- [2] MINISTERIUM FÜR KULTUS, JUGEND UND SPORT; BADEN-WÜRTTEMBERG: *Bildungsstandards Chemie für das Gymnasium Baden-Württemberg*
- [3] THÜRINGER MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT UND KULTUR: *Lehrplan für den Erwerb der allgemeinen Hochschulreife - Chemie*
- [4] MINISTERIUM FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG; NORDRHEIN-WESTFALEN: *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II - Gymnasium NRW - Chemie*
- [5] LANDESINSTITUT FÜR SCHULE; BREMEN: *Chemie - Bildungsplan für die gymnasiale Oberstufe - Bremen*
- [6] BRANDL, H.: Über die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten der Luminolreaktion im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: *PdN-Chemie* 1 (1980)
- [7] SCHWANITZ, D.: *Bildung. Alles was man wissen muss.* 2002
- [8] FISCHER, E.P.: *Die andere Bildung - Was man von den Naturwissenschaften wissen sollte.* 2002
- [9] WELT ONLINE: *Lustloses Lernen hat einen enorm hohen Preis.* <http://www.welt.de/wissenschaft/article108835441/Lustloses-Lernen-hat-einen-enorm-hohen-Preis.html> (letzter Zugriff: 1.12.14), 2012

- 
- [10] BADENSCHIER, F.: *Chemie im Alltag*. [http://www.planet-wissen.de/natur/forschung/chemie\\_im\\_alltag/pwwbchemieimalltag100.html](http://www.planet-wissen.de/natur/forschung/chemie_im_alltag/pwwbchemieimalltag100.html) (letzter Zugriff: 1.4.16), 2016
- [11] STADERMANN, H.: *Image der Chemie: Akzeptanz und Erscheinungsbild der Chemie in der Gesellschaft*. 2008
- [12] FISCHER, A. ; MÜNCHMEIER, R.: *Jugend 97 - Zukunftsorientierungen, Gesellschaftliches Engagement, Politische Orientierungen*. 1997
- [13] LEHMANN-RIEKERT, A.: Chemie und Öffentlichkeit; der leicht gestörte Frieden. In: *Nachrichten aus Chemie, Technik und Laboratorium* 47 (1999), Nr. 7
- [14] MÖLLER, L.: *Chemie - unser Leben, unsere Zukunft*. <https://www.unesco.de/wissenschaft/2011/uho-0111-iyd-daten-fakten.html> (letzter Zugriff: 25.6.16), 2011
- [15] BARKE, H.-D. ; HILBING, C.: Image von Chemie und Chemieunterricht. In: *ChiuZ* 34 (2000), Nr. 1
- [16] OECD- DIREKTION BILDUNG: *PISA 2006: Naturwissenschaftliche Kompetenzen für die Welt von morgen - Kurzzusammenfassung*. <http://www.oecd.org/germany/39727140.pdf> (letzter Zugriff: 25.5.15), 2007
- [17] OECD- DIREKTION BILDUNG: *PISA 2006: Naturwissenschaftliche Kompetenzen für die Welt von Morgen - OECD Briefing Note für Deutschland*. <http://www.oecd.org/germany/39727140.pdf> (letzter Zugriff: 25.5.15), 2007
- [18] MERZYN, G.: *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik - immer unbeliebter?* 2013
- [19] SASOL GMBH: *Sasol-Studie untermauert PISA-Ergebnisse*. <http://www.adhaesion.com/index.php;do=show/site=adh/sid=105810894452dd59e0657a7373696425/alloc=99/id=3838> (letzter Zugriff 20.1.2014),

- 
- [20] SCHMINKE, M. ; PFEIFFER, P. ; HAAG, L.: Mehr Interesse am Chemieunterricht durch Praxisorientierung? In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 60 (2007)
- [21] KÖLBACH, E.: *Kontexteinflüsse beim Lernen mit Lösungsbeispielen*. 2011
- [22] ROST, J. ; SIEVERS, K. ; HÄUSSLER, P. ; HOFFMANN, L. ; LANGENHEINE, R.: Struktur und Veränderung des Interesses an Physik bei Schülern der 6. bis 10. Klassenstufe. In: *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 31 (1999)
- [23] STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG: Studierende an baden-württembergischen Hochschulen im Wintersemester 2012/13. In: *Statistische Berichte Baden-Württemberg* (2013)
- [24] STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG: Studierende an baden-württembergischen Hochschulen im Wintersemester 2011/12. In: *Statistische Berichte Baden-Württemberg* (2012)
- [25] HERRIGER, C. ; DUCCI, M.: Forsche Schülerinnen forschen - Ein Programm zur Förderung des naturwissenschaftlich-technischen Interesses von Schülerinnen. In: *Chemkon* 17 (2010), Nr. 1
- [26] TAUSCH, M.W.: Curriculare Innovationsforschung in der Chemiedidaktik. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule* 62 (2013), Nr. 4
- [27] FRIES, E.; ROSENBERGER, R.: *Forschender Unterricht*. 1973
- [28] SCHMIDKUNZ, H. H.; L. H.; Lindemann: *Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren - Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. 1995
- [29] MESSNER, R.: *Schule forscht - Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen*. 2009
- [30] VOLLMER, M.: *Lichtspiele in der Luft. Atmosphärische Optik für Einsteiger*. 2005
- [31] KULL, U.: *Linder Biologie SII*. 2005

- [32] BOWMAKER, J. K. ; DARTNALL, H.J.A.: Visual pigments of rods and cones in a human retina. In: *The Journal of Physiology* 298 (1980)
- [33] DEMUTH, R.: *Chemie im Kontext: Sekundarstufe II*. 2009
- [34] BAERNS, M.: *Technische Chemie*. 2006
- [35] CHEN, R. ; SEATON, A.: A meta-analysis of painting exposure and cancer mortality. In: *Cancer Detect* 22 (1998)
- [36] HEINRICH, P.C. ; MÜLLER, M. ; GRAEVE, L.: *Löffler/Petrides Biochemie und Pathobiochemie*. 2014
- [37] CHUNG, K.T.: Reduction of azo dyes by the intestinal microflora. In: *Critical Reviews in Microbiology* 18 (1992)
- [38] HÄUSLER, G.: Azofarbstoffe in Leder und Textilien. In: *Reports alte Serie* 159 (1999)
- [39] BAUER, A.: Contact allergy to textile dyes. In: *Aktuelle Dermatologie* 30 (2004)
- [40] PELIKAN VERTRIEBSGESELLSCHAFT MBH& CO KG: *Thema Tintenlöschstifte*. [http://www.pelikan.com/pulse/Pulsar/de\\_DE.CMS.displayCMS.115743./tintenkiller-historischer-ueberblick-lehrer-aktion-september-2003](http://www.pelikan.com/pulse/Pulsar/de_DE.CMS.displayCMS.115743./tintenkiller-historischer-ueberblick-lehrer-aktion-september-2003) (letzter Zugriff 7.11.2014),
- [41] BÄREN-COMPANY®: *Bezugsquelle von Ananas-Minibärchen*. <https://www.baeren-company.de/catalogsearch/result/?q=Artikelnummer+110206023> (letzter Zugriff: 12.11.2014),
- [42] MÖLLENCAMP, H.: Der Radieschenindikator - eine gute Alternative. In: *MNU* 7 (1998)
- [43] HÄUSLER, K. ; WOROFKA, A.: Rotkohl-Blaukraut, ein idealer Universalindikator. In: *NiU-P/C* 27 (1987)
- [44] DUCCI, M.: Himbeere, Waldmeister oder doch Zitrone? Die Verwendung von Brausepulver und Gummibärchen als Indikatoren. In: *Chemkon* 4 (2005)

- [45] OETKEN, M. ; KRASEL, M. ; DUCCI, M.: Dissipative (Gummibärchen-)Systeme. In: *Chemkon* 1 (2008)
- [46] MILKU TIERHYGIENE GMBH: *Bezugsquelle für Brillantschwarz-Reduktionstestampullen.* <http://milku.de/Produkte/Hemmstofftestsysteme/Delvotest-BR-Brilliant-25-Ampullen.html> (letzter Zugriff: 14.11.2014),
- [47] RAPEX KOMMISSION DER EU: *Weekly overview report of RAPEX notifications Report 43.* [http://ec.europa.eu/consumers/safety/rapex/alerts/main/index.cfm?event=main.weeklyOverview&web\\_report\\_id=1101&selectedTabIdx=1](http://ec.europa.eu/consumers/safety/rapex/alerts/main/index.cfm?event=main.weeklyOverview&web_report_id=1101&selectedTabIdx=1) (letzter Zugriff: 17.11.2014),
- [48] GROHMANN, G.: *Krebs durch schwarze Kleidung.* <http://www.welt.de/print-welt/article593401/Krebs-durch-schwarze-Kleidung.html> (letzter Zugriff: 17.11.2014), 1999
- [49] GESTIS-STOFFDATENBANK: *4-Chloranilin.* [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis\\_de/011830.xml?f=templates\\$fn=default.htm\\$3.0](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/011830.xml?f=templates$fn=default.htm$3.0),
- [50] SIGMA-ALDRICH®: *SDB 4,4'-Dichlorazobenzol.* [http://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?interface=CAS\\$%20No.&term=1602-00-2&N=0&mode=partialmax&focus=product&lang=de&region=DE](http://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?interface=CAS$%20No.&term=1602-00-2&N=0&mode=partialmax&focus=product&lang=de&region=DE),
- [51] CARL ROTH®: *SDB ORange G.* [http://www.carlroth.com/media/\\_de-de/sdpdf/0318.PDF](http://www.carlroth.com/media/_de-de/sdpdf/0318.PDF),
- [52] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT: *Verordnung (EG) Nr. 1223/2009.* <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32009R1223> (letzter Zugriff: 17.11.2014), 2009
- [53] BGFA: *Azofarbstoffe und deren Hautgängigkeit beim Menschen.* [http://www.ipa.ruhr-uni-bochum.de/pdf/09-02-27\\_BGFA-Report2\\_Azofarbstoffe.pdf](http://www.ipa.ruhr-uni-bochum.de/pdf/09-02-27_BGFA-Report2_Azofarbstoffe.pdf) (letzter Zugriff: 19.11.2014), 2009

- [54] ÖKO-TEST VERLAG GMBH: *Dicke Lippe*. <http://www.oekotest.de/cgi/index.cgi?artnr=105015&bernr=10&seite=01>, 2014
- [55] MARIE, C.; BOAN, T.; DiBENEDETTO, J.: *Technical Procedures- Fluorescein*. <http://latent-prints.com/fluorescein2.htm>, 2002
- [56] BLACKLEDGE, R.D.: *Forensic Analysis on the Cutting Edge: New Methods for Trace Evidence Analysis*. 2007
- [57] *Produktsuche durch Strukturingabe*. [http://www.emdmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-DE-Site/de\\_DE/-/EUR/ViewStructureSearch-Start](http://www.emdmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-DE-Site/de_DE/-/EUR/ViewStructureSearch-Start) (letzter Zugriff: 23.11.2014),
- [58] *Chemikaliendatenbank mit Struktureditor*. <http://www.internetchemie.info/chemikalien/chemikalien-datenbank.html> (letzter Zugriff: 23.11.2014),
- [59] *OC-Chemikaliendatenbank mit Struktureditor*. <http://www.organische-chemie.ch/OC/chemikalien/struktursuche.htm>,
- [60] ATKINS, P.W. ; FRIEDMAN, R.S.: *Molecular Quantum Mechanics*. 2004
- [61] ZAJONC, S. ; DUCCI, M.: Stokes-Shift mit Zauberstift... und der Lösungsmiteleinfluss auf die Fluoreszenz. In: *ChemKon* 20 (2013)
- [62] JAHNKE-KLEIN, S.: Benötigen wir eine geschlechtsspezifische Pädagogik in den MINTFächern? Ein Überblick über die Debatte und den Forschungsstand. In: *Schulpädagogik heute* 4 (2013)
- [63] KESSELS, U.: *Undoing Gender in der Schule*. 2002
- [64] PINTRICH, P. R. ; MARX, R. W. ; BOYLE, R. A.: Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. In: *Review of Educational Research* 63 (1993), Nr. 2

- 
- [65] ICILS: *Testergebnisse 2013*. [https://kw.uni-paderborn.de/fileadmin/kw/institute-einrichtungen/erziehungswissenschaft/arbeitsbereiche/eickelmann/pdf/ICILS\\_2013\\_Berichtsband.pdf](https://kw.uni-paderborn.de/fileadmin/kw/institute-einrichtungen/erziehungswissenschaft/arbeitsbereiche/eickelmann/pdf/ICILS_2013_Berichtsband.pdf) (letzter Zugriff: 30.11.14), 2014



# Abbildungsverzeichnis

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | Werbeplakat des Getränkeherstellers Bionade® . . . . .  | 13 |
| 2.2  | Ergebnisse der SASOL-Studie zur Beliebtheit der Schulfächer . . . . .   | 15 |
| 3.1  | Das Spektrum des sichtbaren Lichts . . . . .  | 25 |
| 3.2  | Überlappung der drei additiven Grundfarben Rot, Grün und Blau . . . . .   | 27 |
| 3.3  | Betrachtung eines weißen Monitorbildes durch ein Kameraobjektiv . . . . .   | 28 |
| 3.4  | Überlappung der drei subtraktiven Grundfarben Cyan, Magenta, und Gelb . . .   | 29 |
| 3.5  | Ausschnitt des Molekülorbitalmodells eines Stickstoffmoleküls (links) und eines<br>Wasserstoffmoleküls (rechts) . . . . .   | 31 |
| 3.6  | Lewisformel von 1,3-Butadien (links), Molekülorbitale des $\pi$ -Systems des 1,3-<br>Butadiens (rechts; erstellt mit Spartan®) . . . . .  | 32 |
| 3.7  | HOMO (links) und LUMO (rechts) des 1,3,5-Hexatriens . . . . .   | 33 |
| 3.8  | Der Zusammenhang zwischen der Anzahl konjugierter Doppelbindungen bei Po-<br>lyenen der Form $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}=\text{CH})_n-\text{CH}_3$ und der größten, maximal absorbierten<br>Wellenlänge. . . . . | 34 |
| 3.9  | Zu einem $\pi$ -Molekülorbital überlappende p-Orbitale im Ethen-Molekül . . . . .   | 34 |
| 3.10 | Strukturformel von Naphthalin . . . . .   | 35 |
| 3.11 | Strukturformeln einiger Farbstoffe . . . . .  | 36 |
| 3.12 | Synthese von Anilingelb aus Anilin und salpetriger Säure . . . . .  | 38 |
| 3.13 | Strukturformel von Kongorot . . . . .   | 38 |
| 3.14 | Gewinnung des Nitrosylkations aus einem Nitrit-Ion . . . . .  | 39 |
| 3.15 | Diazotierung eines aromatischen Amins (Anthranilsäure) . . . . .  | 40 |

|  |    |
|--|----|
| 3.16 Azokupplung eines Diazoniumions an einen Aromaten zur Bildung eines Azofarbstoffes (hier: Methylrot) . . . . .  | 40 |
| 3.17 Reduktive Spaltung des Azofarbstoffes Sudan I in freie aromatische Amine . . .  | 41 |
| 3.18 Reduktive Spaltung von Azorubin (zugelassener Lebensmittelzusatzstoff). Sowohl Azofarbstoff als auch Spaltprodukte weisen hohe Wasserlöslichkeit auf. . . | 42 |
| 4.1 Zaubermaler der Firma Carioca® . . . . .   | 46 |
| 4.2 Übermalen eines Zaubermalers mit dem ‚Magic Pen‘ . . . . .   | 49 |
| 4.3 Bestimmung des pH-Werts des ‚Magic Pen‘ . . . . .  | 50 |
| 4.4 . . . . .  | 52 |
| 4.5 Stärke-Lösung mit Lugolscher Lösung versetzt vor (links) und nach (rechts) Zugabe der ‚Magic Pen‘ - Lösung . . . . .                                       | 54 |
| 4.6 Nachweis der Sulfitionen im ‚Magic Pen‘ durch $\text{KMnO}_4$ -Lösung . . . . .  | 56 |
| 4.7 Papierchromatogramme einiger Zaubermaler (rechte Hälfte jeweils benetzt mit Natriumsulfit-Lösung) . . . . .  | 58 |
| 4.8 Anlagerung eines Sulfitions am zentralen C-Atoms eines TPM-Farbstoffes (hier Wasserblau) . . . . .   | 59 |
| 4.9 Reinigung des Tintenspeichers eines Fasermalers . . . . .  | 61 |
| 4.10 Befüllung der gereinigten Tintenspeicher mit den Farbstofflösungen . . . . .  | 62 |
| 4.11 Befüllung der gereinigten Tintenspeicher mit Hilfe einer Spritze . . . . .  | 63 |
| 4.12 Die Farbwechsel der selbst hergestellten Zaubermaler . . . . .  | 64 |
| 4.13 Farbstoffe von Stift 1 . . . . .  | 65 |
| 4.14 Farbstoffe von Stift 2 . . . . .  | 65 |
| 4.15 Farbstoffe von Stift 3 . . . . .  | 66 |
| 4.16 Papierchromatogramme des Zaubermalers mit Farbwechsel Blau $\longrightarrow$ Gelb auf unterschiedlichen Filterpapieren . . . . .                          | 68 |
| 4.17 Pyranin-Lösungen . . . . .  | 70 |
| 4.18 Reversible Deprotonierung des Pyranins . . . . .  | 70 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 4.19 | Absorptionsspektren der Farbstoffe des Zaubermalers mit Farbwechsel Blau<br>→ Gelb . . . . .  | 71  |
| 4.20 | Absorptionsspektren einer Lösung des blauen Farbstoffes aus dem Zaubermaler<br>mit Farbwechsel Grün → Lila und einer Wasserblau-Lösung . . . . .  | 73  |
| 4.21 | Brillantgelb bei unterschiedlichen pH-Werten . . . . .  | 75  |
| 5.1  | Selbst hergestelltes BS-Bärchen (rechts) aus farblosen Gummibärchen (links) . .   | 80  |
| 5.2  | Lösung eines roten Haribo®-Gummibärchens bei unterschiedlichen pH-Werten .  | 82  |
| 5.3  | Strukturformel von Cyanidin . . . . .   | 83  |
| 5.4  | BS-Lösung (a) nach Zugabe von Lauge und Erwärmen (b: nach 10 s, c: nach<br>30 s), d: nach Zugabe der Salzsäure . . . . .                          | 84  |
| 5.5  | Gefärbter Wollfaden . . . . .   | 86  |
| 5.6  | Oxidation von Glucose zur Gluconsäure . . . . .   | 89  |
| 5.7  | Strukturformel von Brillantschwarz mit Oxidationszahlen der Azobrücken . . . .  | 90  |
| 5.8  | Reduktion einer BS-Lösung mit Zinkstaub (links: davor, rechts: danach) . . . . .  | 92  |
| 5.9  | Vollständige reduktive Spaltung von BS in aromatische Amine . . . . .   | 93  |
| 5.10 | Mögliche Produkte bei der Spaltung einer Azobrücke des Farbstoffes BS . . . . .   | 94  |
| 5.12 | Synthese von 8-Amino-5(4-sulfophenylazo-)-naphthalin-2-sulfonsäure-Anion . . .  | 97  |
| 5.13 | Testampullen nach Brutzeit; überschichtet mit hemmstofffreier (links) bzw.<br>hemmstoffhaltiger Milch (rechts) . . . . .                          | 98  |
| 5.14 | Mesomere Grenzstrukturen des ,oberen‘ Drittels des BS-Moleküls . . . . .  | 100 |
| 5.15 | Reduktive Spaltung der Azogruppe im BS-Molekül . . . . .  | 101 |
| 5.16 | Reduktion einer BS-Lösung (links); im Alkalischen (Mitte) und nach dem An-<br>säuern (rechts) . . . . .   | 102 |
| 5.17 | Reduktion der zweiten Azogruppe im BS-Molekül . . . . .   | 104 |
| 6.1  | Mit den Farbstoffen gefärbte Wollfäden. Von oben nach unten: Biebricher Schar-<br>lach, Gelborange S, Braun HT, Tartrazin O, Azorubin S . . . . . | 109 |
| 6.2  | Ionenbindung zwischen Keratin und Gelborange S . . . . .  | 109 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 6.3  | Bericht aus ‚Die Welt - online‘ - verändert nach [48] . . . . .  | 110 |
| 6.4  | Ausschnitt aus einer Rapex-Wochenmeldung, verändert nach [47] . . . . .  | 111 |
| 6.5  | Spaltung eines Azofarbstoffes (hier: 4,4'-Dichlor-azobenzol) unter Bildung aro-<br>matischer Amine (hier: 4-Chloranilin) . . . . .   | 112 |
| 6.6  | Spaltung des Azofarbstoffes Orange G . . . . .   | 113 |
| 6.7  | Farblösungen vor (links) und nach (rechts) der Zugabe von Power-Entfärber bzw.<br>Natriumdithionit . . . . .   | 115 |
| 6.8  | Strukturformeln der verwendeten Farbstoffe und die Reaktion von Azorubin S<br>mit Reduktionsmitteln . . . . .  | 116 |
| 6.9  | Biebricher Scharlach-Lösung vor (links) und nach (rechts) der Zugabe von Power-<br>Entfärber . . . . .   | 117 |
| 6.10 | Strukturformel von Biebricher Scharlach . . . . .  | 118 |
| 6.11 | Teilreduzierte Biebricher Scharlach-Lösung (links), die gleiche Lösung nach dem<br>Ansäuern (Mitte) und nach Zugabe von Wasserstoffperoxid und anschließendem<br>Ansäuern (rechts) . . . . . | 119 |
| 6.12 | Reduktive Spaltung des Farbstoffes Biebricher Scharlach in zwei Schritten . . . .  | 120 |
| 6.13 | Reversible Protonierung von Echtgelb . . . . .   | 120 |
| 6.14 | Modellversuch zur Hautgängigkeit von Azofarbstoffen und ihren Spaltprodukten   | 123 |
| 6.15 | Strukturformel von 4-Aminonaphthalin-1-Sulfonat . . . . .  | 124 |
| 6.16 | Azorubin S- (links) und angesäuerte Braun HT-Lösung (rechts) nach Zugabe des<br>Reduktionsmittels unter UV-Licht . . . . .   | 125 |
| 6.17 | Das Syntheseprodukt vor (links) und nach Verdünnen und Versetzen mit Na-<br>tronlauge (rechts) . . . . .   | 127 |
| 6.18 | Bildung von Triazenen im Verlauf der Synthesereaktion und deren (unerwünsch-<br>te) Umlagerung . . . . .   | 128 |
| 6.19 | Arbeitsmaterial zur Lernkontrolle und Vertiefung - verändert nach [53] . . . . .   | 129 |
| 6.20 | Strukturformel von D&C Red 33 . . . . .  | 131 |
| 7.1  | Benötigte Produkte für die Durchführung des Unterrichtskonzepts . . . . .  | 133 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 7.2  | Wässrige Badeperlen-Lösung bei Tageslicht (links) und unter UV-Licht (rechts) .   | 134 |
| 7.3  | Strukturformeln von Fluorescein (links) und seinem Dinatriumsalz Uranin (rechts)  | 134 |
| 7.4  | Reduktion von Fluorescein . . . . .   | 136 |
| 7.5  | Badeperlen-Lösung nach der Reduktion bei Tageslicht (links) und unter UV-Licht (rechts) . . . . .   | 137 |
| 7.6  | Reoxidierte Badeperlen-Lösung bei Tageslicht (links) und unter UV-Licht (rechts)  | 139 |
| 7.7  | Reoxidation des Fluoresceins . . . . .  | 139 |
| 7.8  | Strukturformel von Cochenillerot A . . . . .  | 140 |
| 7.9  | Saubär Badewasserfarbe-Lösung (links) nach Zugabe von Eisessig und Zinkstaub bei Tageslicht (Mitte) und unter UV-Licht (rechts) . . . . . | 141 |
| 7.10 | Reduktive Spaltung des Azofarbstoffes Cochenillerot A . . . . .   | 144 |
| 7.11 | Nutzung eines Struktureditors zum Finden von Azofarbstoffen mit Komponente A durch Teilstruktursuche (Substructure Search)[58] . . . . .  | 145 |
| 7.12 | Teil der Trefferliste der Teilstruktursuche nach Komponente A . . . . .   | 146 |
| 7.13 | Reduktive Spaltung von Orange G . . . . .   | 147 |
| 7.14 | Teilstruktursuche nach Komponente B . . . . .   | 148 |
| 7.15 | Teil der Trefferliste der Teilstruktursuche nach Komponente B . . . . .   | 149 |
| 7.16 | Strukturformeln möglicher ‚ungeeigneter‘ Azofarbstoffe . . . . .  | 150 |
| 7.17 | Strukturformeln zweier ‚geeigneter‘ Azofarbstoffe . . . . .   | 150 |
| 7.18 | Powerade® ‚Wild Cherry‘ vor und nach der Reduktion (links) und unter UV-Licht (rechts) . . . . .  | 152 |
| 7.19 | Blau fluoreszierende Schriftzüge auf Filterpapier . . . . .   | 153 |
| 7.20 | Energieunterschied zwischen Anregung (rot) und Relaxation (grün) eines Elektrons durch verschiedene vibronische Zustände . . . . .        | 156 |
| 7.21 | Lösungsmiteinfluss auf den Unterschied zwischen absorbiertem und emittiertem Energie . . . . .  | 157 |
| 7.22 | Experimentelle Beobachtung der Stokes-Verschiebung . . . . .  | 158 |
| 7.23 | Strukturformeln fluoreszierender Farbstoffe . . . . .   | 158 |

---

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 8.1 | Impressionen aus dem Projekt ‚Make Science!‘ . . . . . | 161 |
|-----|--|-----|

# Liste der Experimente

|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.1  | Untersuchung der Zaubermaler . . . . .   | 48 |
| 4.2  | Bestimmung des pH-Werts des ‚Magic Pen‘ . . . . .  | 50 |
| 4.3  | pH-Verschiebung der Zaubermaler . . . . .  | 51 |
| 4.4  | Nachweis des Reduktionsmittels im ‚Magic Pen‘ mit Lugolscher Lösung . . . . .                                | 53 |
| 4.5  | Nachweis von Sulfitionen im ‚Magic Pen‘ . . . . .  | 55 |
| 4.6  | Farbstofftrennung mittels Papierchromatographie und Benetzung mit Natriumsulfit-Lösung . . . . .             | 57 |
| 4.7  | Herstellung eigener Zaubermaler . . . . .  | 60 |
| 4.8  | Identifizierung des gelben Farbstoffs im Carioca®-Zaubermaler mit Farbwechsel Blau → Gelb (Teil 1) . . . . . | 67 |
| 4.9  | Identifizierung des gelben Farbstoffs im Carioca®-Zaubermaler mit Farbwechsel Blau → Gelb (Teil 2) . . . . . | 69 |
| 4.10 | Identifikation des blauen Farbstoffs im grünen Herlitz®-Zaubermaler mit lilafarbenen Ring . . . . .          | 72 |
| 4.11 | Identifikation des gelben Farbstoffs im grünen Herlitz®-Zaubermaler mit lila Ring .                          | 74 |
| 4.12 | Herstellung eines ‚Magic Pen‘ . . . . .  | 76 |
| 5.1  | Herstellung von BS-Bärchen . . . . .   | 79 |
| 5.2  | Test diverser Alltagsgegenstände auf ihre Verwendung als pH-Indikatoren . . . . .                            | 81 |
| 5.3  | Test eines BS-Bärchens auf Eignung als pH-Indikator . . . . .  | 83 |
| 5.4  | Isolierung des Farbstoffes aus den BS-Bärchen (Teil 1) . . . . .   | 85 |
| 5.5  | Isolierung des Farbstoffes aus den BS-Bärchen (Teil 2) . . . . .   | 87 |
| 5.6  | Erforschung des zweiten Reaktionsteilnehmers . . . . .   | 88 |

---

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 5.7  | Reduktion von BS mit Vitamin C (Ascorbinsäure) . . . . .                              | 89  |
| 5.8  | Reduktion von BS mit Zinkstaub . . . . .  | 92  |
| 5.9  | Synthese des Monoazofarbstoffes 1 aus Abb. 5.10 . . . . .                             | 95  |
| 5.10 | Der Brillantschwarz-Reduktionstest . . . . .  | 98  |
| 5.11 | Reduktion von BS mit Natriumdithionit . . . . .                                       | 102 |
| 6.1  | Färben der Wollfäden mit diversen Azofarbstoffen . . . . .                            | 108 |
| 6.2  | Desorption und Reduktion von Azofarbstoffen an Wollfäden . . . . .                    | 114 |
| 6.3  | Desorption und Reduktion von Biebricher Scharlach am Wollfaden . . . . .              | 117 |
| 6.4  | Modellversuch zur Hautgängigkeit von Azofarbstoffen und ihren Spaltprodukten . .      | 122 |
| 6.5  | Synthese des Monoazofarbstoffes Echtgelb . . . . .                                    | 126 |
| 7.1  | Reaktion einer Badeperlen-Lösung mit einem Reduktionsmittel . . . . .                 | 135 |
| 7.2  | Reoxidation des Fluoresceins . . . . .  | 138 |
| 7.3  | Reaktion einer Cochenillerot A-Lösung mit Eisessig und Zinkstaub . . . . .            | 141 |
| 7.4  | Reaktion von Cochenillerot A mit Natriumdithionit . . . . .                           | 143 |
| 7.5  | Reduktion einer Orange G-Lösung . . . . .   | 147 |
| 7.6  | Reduktion von Azorubin in Powerade <sup>®</sup> ‚Wild Cherry‘ . . . . .               | 151 |
| 7.7  | Reduktion von Amaranth im Creme-Schaumbad ‚Magische Momente‘ von Litamin <sup>®</sup> | 153 |



# Anhang

# A. Abkürzungsverzeichnis

|              |   |
|--------------|---|
| <b>BASF</b>  | Badische Anilin- und Sodafabrik   |
| <b>BS</b>    | Brillantschwarz BN  |
| <b>CMYK</b>  | Cyan, Magenta, Yellow, Key Plate  |
| <b>CT</b>    | Charge-Transfer   |
| <b>EU</b>    | Europäische Union   |
| <b>GHS</b>   | global harmonisierten System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien |
| <b>HOMO</b>  | <u>H</u> ighest <u>O</u> ccupied <u>M</u> olecular <u>O</u> rbital            |
| <b>ICILS</b> | International Computer and Information Literacy Study                         |
| <b>IR</b>    | Infrarot  |
| <b>KIT</b>   | Karlsruher Institut für Technologie   |
| <b>LSG</b>   | Lehrer-Schüler-Gespräch   |
| <b>LUMO</b>  | <u>L</u> owest <u>U</u> noccupied <u>M</u> olecular <u>O</u> rbital           |
| <b>PH</b>    | Pädagogischen Hochschule  |
| <b>PSE</b>   | Periodensystem der Elemente   |
| <b>RGB</b>   | Rot, Grün, Blau   |
| <b>SSG</b>   | Schüler-Schüler-Gespräch  |
| <b>TPM</b>   | Triphenylmethan   |
| <b>UV</b>    | Ultraviolett  |

## **B. Fragebögen der Evaluation im Projekt ,Make Science!‘**

### Evaluation des Make-Science-Kurses

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

damit wir unser Kursangebot weiterhin verbessern können und ein kleines Feedback erhalten bitten wir Dich, Dir kurz Zeit zu nehmen und diesen Fragebogen auszufüllen. Der Fragebogen soll Deine ganz persönliche Meinung widerspiegeln. Ein „richtig“ oder „falsch“ gibt es hierbei nicht. Lies daher bitte die Fragen sorgfältig durch und überlege Deine Antworten.

Setze Deine Kreuze bitte in einen eindeutigen Kreis und schreibe Deine Antworten in die vorgesehenen Zeilen.

Alle Daten werden entsprechend der Richtlinien zum Datenschutz behandelt und nach abgeschlossener Untersuchung vernichtet.

Die Umfragen sind anonym, aber da Du im Rahmen des Kurses mehrere Fragebögen ausfüllen wirst, die wir einander zuordnen können müssen, erhältst Du von uns einen Identifikationscode. Bitte bewahre diesen gut auf oder speichere ihn in Dein Handy ein (falls vorhanden). Diesen Identifikationscode trägst Du auf der ersten Seite jedes Fragebogens ein.

Mein Identifikationscode lautet:

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|--|--|--|

**Angaben zur eigenen Person**

Geschlecht: männlich ☐ weiblich ☐

Jahrgangsstufe: 10 ☐ 11 ☐ 12 ☐ 13 ☐

Hier sind zunächst einige Themen, die im Chemieunterricht behandelt werden können. Gib bitte an wie groß jeweils Dein Interesse an diesen Themen ist.

Ich interessiere mich dafür...

① sehr, ② ein wenig, ③ eher nicht, ④ gar nicht

wie die Moleküle aus Natur und Umwelt aufgebaut sind sowie ihre chemischen Reaktionen ① ② ③ ④

wie Kunststoffmoleküle aussehen und wie sie industriell synthetisiert werden. ① ② ③ ④

was chemische Gleichgewichte sind und wo sie in der Industrie eine entscheidende Rolle spielen ① ② ③ ④

wie man aus chemischen Reaktionen elektrische Energie gewinnen kann ① ② ③ ④

wie sich Reaktionsenergien zusammensetzen und wie man sie berechnen kann ① ② ③ ④

welche Bedeutung Aromaten in der Natur haben und welche Gesundheitsgefährdungen von ihnen ausgehen können. ① ② ③ ④

Im Folgenden findest du Arbeitsweisen, wie sie oft im Chemieunterricht praktiziert werden.  
Bitte gib an, wie gern du im Chemieunterricht diese Tätigkeiten durchführst.

① sehr gern, ② gern, ③ weniger gern, ④ ungern

Die Durchführung eines Lehrerexperiments beobachten ① ② ③ ④

Beobachten wie Mitschülerinnen und Mitschüler einen Versuch durch-  
Führen ① ② ③ ④

Einem Lehrervortrag über ein chemisches Thema zuhören ① ② ③ ④

Einem Schülervortrag über ein chemisches Thema zuhören ① ② ③ ④

Eine chemische Größe oder einen möglichen Versuchsausgang vorher  
berechnen. ① ② ③ ④

Ein Experiment selber durchführen ① ② ③ ④

Mit Kugeln o.ä. chemische Modelle bauen ① ② ③ ④

„eigenständig forschen“, also Hypothesen aufstellen und diese durch  
geeignete Experimente beweisen oder widerlegen. ① ② ③ ④

Gib nun bitte an, inwiefern Du Dich in deiner Freizeit mit Chemie auseinander setzt.

Die Aussage trifft ... zu.

① völlig, ② eher, ③ eher nicht, ④ gar nicht

Ich sehe mir Fernsehsendungen, die sich immer oder oft mit Chemie beschäftigen an. ① ② ③ ④

Ich recherchiere chemische Fragen selbstständig im Internet wenn sie sich mir stellen. ① ② ③ ④

Ich unterhalte mich mit Freundinnen und Freunden über Chemie. ① ② ③ ④

Ich beschäftige mich mit Chemie-Experimentierkästen. ① ② ③ ④

Ich denke über chemische Prozesse, die ich im Alltag beobachte, nach. ① ② ③ ④

Wir stellen nun eine Reihe von Behauptungen auf, gib bitte an wie sehr oder wie wenig Du diesen Behauptungen zustimmst.

Diese Behauptung ist meiner Meinung nach ... zutreffend

① völlig, ② eher, ③ eher nicht, ④ gar nicht

Chemie hilft uns viele Vorgänge aus dem Alltag zu verstehen. ① ② ③ ④

Chemie löst viele praktische Probleme aus Industrie und Alltag. ① ② ③ ④

Ich lerne in Chemie etwas, das für mich heute oder später wichtig ist. ① ② ③ ④

Ob ich in Chemie gut oder schlecht bin, ist mir persönlich egal. ① ② ③ ④

Ob ich in Chemie gut oder schlecht bin, ist für meinen späteren Beruf egal. ① ② ③ ④

Die folgenden Behauptungen beziehen sich auf Dein Gefühl in der Wissenschaft Chemie.  
Gib bitte an wie sehr sie auf Dich zutreffen.

Die Aussage ist ... zutreffend

① völlig, ② eher, ③ eher nicht, ④ gar nicht

Obwohl ich mir Mühe gebe, fällt mir Chemie schwer.

① ② ③ ④

Das Verstehen chemischer Theorien fällt mir leicht.

① ② ③ ④

Ich bin beim Durchführen von Experimenten manchmal etwas ungeschickt.

① ② ③ ④

Gerade die schwierigen Aufgaben in Chemie üben einen besonderen Reiz auf mich aus.

① ② ③ ④

Ich erwarte, dass ich mit neuem Stoff in Chemie keine Probleme haben werde.

① ② ③ ④

Anhand von Experimenten verstehe ich auch kompliziertere Theorien.

① ② ③ ④

Gib uns nun zum Schluss bitte noch an wie oft bei Dir im Unterricht chemische Experimente durchgeführt werden.

① ② ③ ④

① sehr oft, ② oft, ③ eher selten, ④ nie

**Das war's!!**

**Vielen Dank für deine Mithilfe!!**



**Evaluation des Make-Science-Kurses (Teil 2)**

Mein Identifikationscode lautet:

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|--|--|--|

**Angaben zur eigenen Person**

Geschlecht: männlich ☐ weiblich ☐

Jahrgangsstufe: 10 ☐ 11 ☐ 12 ☐ 13 ☐

Hier sind zunächst einige Themen, die im Chemieunterricht behandelt werden können. Gib bitte an wie groß jeweils Dein Interesse an diesen Themen ist.

Ich interessiere mich dafür...

① sehr, ② ein wenig, ③ eher nicht, ④ gar nicht

wie die Moleküle aus Natur und Umwelt aufgebaut sind sowie ihre chemischen Reaktionen ① ② ③ ④

wie Kunststoffmoleküle aussehen und wie sie industriell synthetisiert werden. ① ② ③ ④

was chemische Gleichgewichte sind und wo sie in der Industrie eine entscheidende Rolle spielen ① ② ③ ④

wie man aus chemischen Reaktionen elektrische Energie gewinnen kann ① ② ③ ④

wie sich Reaktionsenergien zusammensetzen und wie man sie berechnen kann ① ② ③ ④

welche Bedeutung Aromaten in der Natur haben und welche Gesundheitsgefährdungen von ihnen ausgehen können. ① ② ③ ④

Im Folgenden findest du Arbeitsweisen, wie sie oft im Chemieunterricht praktiziert werden.  
Bitte gib an, wie gern du im Chemieunterricht diese Tätigkeiten durchführst.

① sehr gern, ② gern, ③ weniger gern, ④ ungern

Die Durchführung eines Lehrerexperiments beobachten ① ② ③ ④

Beobachten wie Mitschülerinnen und Mitschüler einen Versuch durch-  
führen ① ② ③ ④

Einem Lehrervortrag über ein chemisches Thema zuhören ① ② ③ ④

Einem Schülervortrag über ein chemisches Thema zuhören ① ② ③ ④

Eine chemische Größe oder einen möglichen Versuchsausgang vorher  
berechnen. ① ② ③ ④

Ein Experiment selber durchführen ① ② ③ ④

Mit Kugeln o.ä. chemische Modelle bauen ① ② ③ ④

„eigenständig forschen“, also Hypothesen aufstellen und diese durch  
geeignete Experimente beweisen oder widerlegen. ① ② ③ ④

Gib nun bitte an, inwiefern Du Dich in deiner Freizeit mit Chemie auseinander setzt.

Die Aussage trifft ... zu.

① völlig, ② eher, ③ eher nicht, ④ gar nicht

Ich sehe mir Fernsehsendungen, die sich immer oder oft mit Chemie beschäftigen an. ① ② ③ ④

Ich recherchiere chemische Fragen selbstständig im Internet wenn sie sich mir stellen. ① ② ③ ④

Ich unterhalte mich mit Freundinnen und Freunden über Chemie. ① ② ③ ④

Ich beschäftige mich mit Chemie-Experimentierkästen. ① ② ③ ④

Ich denke über chemische Prozesse, die ich im Alltag beobachte, nach. ① ② ③ ④

Wir stellen nun eine Reihe von Behauptungen auf, gib bitte an wie sehr oder wie wenig Du diesen Behauptungen zustimmst.

Diese Behauptung ist meiner Meinung nach ... zutreffend

① völlig, ② eher, ③ eher nicht, ④ gar nicht

Chemie hilft uns viele Vorgänge aus dem Alltag zu verstehen. ① ② ③ ④

Chemie löst viele praktische Probleme aus Industrie und Alltag. ① ② ③ ④

Ich lerne in Chemie etwas, das für mich heute oder später wichtig ist. ① ② ③ ④

Ob ich in Chemie gut oder schlecht bin, ist mir persönlich egal. ① ② ③ ④

Ob ich in Chemie gut oder schlecht bin, ist für meinen späteren Beruf egal. ① ② ③ ④

Die folgenden Behauptungen beziehen sich auf Dein Gefühl in der Wissenschaft Chemie.  
Gib bitte an wie sehr sie auf Dich zutreffen.

Die Aussage ist ... zutreffend

① völlig, ② eher, ③ eher nicht, ④ gar nicht

Obwohl ich mir Mühe gebe, fällt mir Chemie schwer.

① ② ③ ④

Das Verstehen chemischer Theorien fällt mir leicht.

① ② ③ ④

Ich bin beim Durchführen von Experimenten manchmal etwas ungeschickt.

① ② ③ ④

Gerade die schwierigen Aufgaben in Chemie üben einen besonderen Reiz auf mich aus.

① ② ③ ④

Ich erwarte, dass ich mit neuem Stoff in Chemie keine Probleme haben werde.

① ② ③ ④

Anhand von Experimenten verstehe ich auch kompliziertere Theorien.

① ② ③ ④

In diesem Teil kannst du deine ehrliche Meinung über den vergangenen Laborkurs wiedergeben.

Die Aussage ist ... zutreffend

① völlig, ② eher, ③ eher nicht, ④ gar nicht

Das selbstständige Arbeiten hat mich manchmal überfordert

① ② ③ ④

Die Inhalte des Kurses waren logisch aufgebaut

① ② ③ ④

Der Kurs war mir zu theoretisch

① ② ③ ④

Die theoretischen Inhalte des Kurses waren zu kompliziert

① ② ③ ④

Ich hatte bei den Kursinhalten keine Verständnisprobleme

① ② ③ ④

Ich wusste immer warum ich welches Experiment durchführe

① ② ③ ④

Ich hätte gerne noch selbstständiger gearbeitet

① ② ③ ④

Den Laborkurs habe ich mir ganz anders vorgestellt

① ② ③ ④

Die Lehrkräfte machten einen kompetenten Eindruck

① ② ③ ④

Die Lehrkräfte wirkten stets motiviert

① ② ③ ④

Das experimentelle „Erforschen“ hat mir Spaß gemacht

① ② ③ ④

Ich würde den Laborkurs „Make Science!“ anderen Schülern empfehlen

① ② ③ ④

Nun noch ein paar fachliche Fragen zu Kursinhalten.

Ich war in der Gruppe:

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Badeperlen „Stressfrei“ | <input type="checkbox"/> Brillantschwarzgummibärchen |
| <input type="checkbox"/> Magische Stifte         | <input type="checkbox"/> Textilfarbstoffe            |

Bitte entscheide bei den folgenden Aussagen ob sie, deiner Meinung nach, wahr oder falsch sind.

|  | Wahr                     | Falsch                   |
|--|--------------------------|--------------------------|
| Ein blauer Stoff absorbiert Licht im blauen Wellenlängenbereich (ca 450nm)   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Farbstoffmoleküle haben viele Doppelbindungen  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Das Hauptmerkmal eines Triphenylmethanfarbstoffmoleküls ist eine N=N-Komponente  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Azofarbstoffe können reduktiv in aromatische Amine (R-NH <sub>2</sub> ) aufgespalten werden.                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Die Farbe einer Fluoreszenz ist gegebenenfalls pH-abhängig   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Die besonderen Reaktionen des Farbstoffes Brillantschwarz liegen zum Großteil daran, dass das Molekül zwei Azobrücken beinhaltet | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Die Farbeffekte des „Magic Pen“ sind ausschließlich auf den hohen pH-Wert der Stiftflüssigkeit zurückzuführen                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Nun noch Platz für ein paar eigene Worte.

Das hat mir am Make-Science-Kurs gut gefallen:

---

---

---

Das könnte man meiner Meinung nach noch besser machen:

---

---

---

Zum Schluss kannst du dem Kurs noch eine Schulnote geben (1-6): \_\_\_\_\_

**Das war's!!  
Vielen Dank für deine Mithilfe!!**



## **C. Statistische Auswertung aller Fragen zum Prätest**

## Häufigkeiten Geschlecht

### Statistiken

Geschlecht

|            |         |    |
|------------|---------|----|
| N          | Gültig  | 87 |
|            | Fehlend | 0  |
| Modus      |         | 2  |
| Spannweite |         | 1  |
| Minimum    |         | 1  |
| Maximum    |         | 2  |

### Geschlecht

|        |          | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|--------|----------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig | männlich | 35         | 40,2    | 40,2                | 40,2                   |
|        | weiblich | 52         | 59,8    | 59,8                | 100,0                  |
|        | Gesamt   | 87         | 100,0   | 100,0               |                        |

## Häufigkeiten Klassenstufe

### Statistiken

Jahrgang

|            |         |    |
|------------|---------|----|
| N          | Gültig  | 87 |
|            | Fehlend | 0  |
| Modus      |         | 2  |
| Spannweite |         | 3  |
| Minimum    |         | 1  |
| Maximum    |         | 4  |

### Jahrgang

|        |        | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|--------|--------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig | 10     | 1          | 1,1     | 1,1                 | 1,1                    |
|        | 11     | 48         | 55,2    | 55,2                | 56,3                   |
|        | 12     | 19         | 21,8    | 21,8                | 78,2                   |
|        | 13     | 19         | 21,8    | 21,8                | 100,0                  |
|        | Gesamt | 87         | 100,0   | 100,0               |                        |

## Häufigkeiten: Interesse an Schulthemen

### Statistiken

|   |            | Int<br>Naturmoleküla<br>ufbau | Int<br>Kunststoffmol<br>eküle | Int<br>chemisches<br>GG | Int chemische<br>Rkt -><br>elektrische<br>Energie | Int<br>Reaktionsener<br>gien<br>berechnen |
|---|------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---|---|
| N | Gültig     | 86                            | 86                            | 86                      | 85  | 85  |
|   | Fehlend    | 1                             | 1                             | 1                       | 2   | 2   |
|   | Modus      | 2                             | 2                             | 2                       | 1   | 3   |
|   | Spannweite | 3                             | 3                             | 3                       | 3   | 3   |
|   | Minimum    | 1                             | 1                             | 1                       | 1   | 1   |
|   | Maximum    | 4                             | 4                             | 4                       | 4   | 4   |

### Statistiken

|   |            | Int Aromaten |
|---|------------|--------------|
| N | Gültig     | 86           |
|   | Fehlend    | 1            |
|   | Modus      | 1            |
|   | Spannweite | 3            |
|   | Minimum    | 1            |
|   | Maximum    | 4            |

## Häufigkeitstabelle

### Int Naturmolekülaufbau

|         |            | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr       | 26         | 29,9    | 30,2                | 30,2                   |
|         | ein wenig  | 49         | 56,3    | 57,0                | 87,2                   |
|         | eher nicht | 10         | 11,5    | 11,6                | 98,8                   |
|         | gar nicht  | 1          | 1,1     | 1,2                 | 100,0                  |
|         | Gesamt     | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System     | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |            | 87         | 100,0   |                     |                        |

### Int Kunststoffmoleküle

|         |            | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr       | 17         | 19,5    | 19,8                | 19,8                   |
|         | ein wenig  | 36         | 41,4    | 41,9                | 61,6                   |
|         | eher nicht | 27         | 31,0    | 31,4                | 93,0                   |
|         | gar nicht  | 6          | 6,9     | 7,0                 | 100,0                  |
|         | Gesamt     | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System     | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |            | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Int chemisches GG

|         |            | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr       | 12         | 13,8    | 14,0                | 14,0                   |
|         | ein wenig  | 41         | 47,1    | 47,7                | 61,6                   |
|         | eher nicht | 26         | 29,9    | 30,2                | 91,9                   |
|         | gar nicht  | 7          | 8,0     | 8,1                 | 100,0                  |
|         | Gesamt     | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System     | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |            | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Int chemische Rkt -> elektrische Energie

|         |            | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr       | 35         | 40,2    | 41,2                | 41,2                   |
|         | ein wenig  | 22         | 25,3    | 25,9                | 67,1                   |
|         | eher nicht | 22         | 25,3    | 25,9                | 92,9                   |
|         | gar nicht  | 6          | 6,9     | 7,1                 | 100,0                  |
|         | Gesamt     | 85         | 97,7    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System     | 2          | 2,3     |                     |                        |
| Gesamt  |            | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Int Reaktionsenergien berechnen

|         |            | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr       | 9          | 10,3    | 10,6                | 10,6                   |
|         | ein wenig  | 18         | 20,7    | 21,2                | 31,8                   |
|         | eher nicht | 39         | 44,8    | 45,9                | 77,6                   |
|         | gar nicht  | 19         | 21,8    | 22,4                | 100,0                  |
|         | Gesamt     | 85         | 97,7    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System     | 2          | 2,3     |                     |                        |
| Gesamt  |            | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Int Aromaten

|         |            | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr       | 49         | 56,3    | 57,0                | 57,0                   |
|         | ein wenig  | 31         | 35,6    | 36,0                | 93,0                   |
|         | eher nicht | 3          | 3,4     | 3,5                 | 96,5                   |
|         | gar nicht  | 3          | 3,4     | 3,5                 | 100,0                  |
|         | Gesamt     | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System     | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |            | 87         | 100,0   |                     |                        |

Häufigkeiten: präferierte Unterrichtsmethode

#### Statistiken

|            |         | Akt<br>Lehrerexperiment | Akt Mitschüler<br>Experiment | Akt<br>Lehrervortrag | Akt<br>Schülervortrag | Akt<br>Versuchsausgang und<br>chemische<br>Größe<br>ausrechnen |
|------------|---------|-------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|--|
| N          | Gültig  | 86                      | 86                           | 86                   | 86                    | 86   |
|            | Fehlend | 1                       | 1                            | 1                    | 1                     | 1  |
| Modus      |         | 2                       | 2                            | 2                    | 2                     | 3  |
| Spannweite |         | 3                       | 3                            | 3                    | 3                     | 3  |
| Minimum    |         | 1                       | 1                            | 1                    | 1                     | 1  |
| Maximum    |         | 4                       | 4                            | 4                    | 4                     | 4  |

#### Statistiken

|            |         | Akt<br>Experiment | Akt Modelle<br>bauen | Akt<br>selbstständig<br>erforschen |
|------------|---------|-------------------|----------------------|------------------------------------|
| N          | Gültig  | 86                | 86                   | 86                                 |
|            | Fehlend | 1                 | 1                    | 1                                  |
| Modus      |         | 1                 | 1                    | 2                                  |
| Spannweite |         | 3                 | 3                    | 3                                  |
| Minimum    |         | 1                 | 1                    | 1                                  |
| Maximum    |         | 4                 | 4                    | 4                                  |

### Häufigkeitstabelle

#### Akt Lehrerexperiment

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 28         | 32,2    | 32,6                | 32,6                   |
|         | gern         | 46         | 52,9    | 53,5                | 86,0                   |
|         | weniger gern | 11         | 12,6    | 12,8                | 98,8                   |
|         | ungern       | 1          | 1,1     | 1,2                 | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Akt Mitschüler Experiment

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 21         | 24,1    | 24,4                | 24,4                   |
|         | gern         | 41         | 47,1    | 47,7                | 72,1                   |
|         | weniger gern | 21         | 24,1    | 24,4                | 96,5                   |
|         | ungern       | 3          | 3,4     | 3,5                 | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Akt Lehrervortrag

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 10         | 11,5    | 11,6                | 11,6                   |
|         | gern         | 38         | 43,7    | 44,2                | 55,8                   |
|         | weniger gern | 28         | 32,2    | 32,6                | 88,4                   |
|         | ungern       | 10         | 11,5    | 11,6                | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Akt Schülervortrag

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 3          | 3,4     | 3,5                 | 3,5                    |
|         | gern         | 51         | 58,6    | 59,3                | 62,8                   |
|         | weniger gern | 24         | 27,6    | 27,9                | 90,7                   |
|         | ungern       | 8          | 9,2     | 9,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Akt Versuchsausgang und chemische Größe ausrechnen

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 8          | 9,2     | 9,3                 | 9,3                    |
|         | gern         | 25         | 28,7    | 29,1                | 38,4                   |
|         | weniger gern | 36         | 41,4    | 41,9                | 80,2                   |
|         | ungern       | 17         | 19,5    | 19,8                | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Akt Experiment

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 64         | 73,6    | 74,4                | 74,4                   |
|         | gern         | 18         | 20,7    | 20,9                | 95,3                   |
|         | weniger gern | 2          | 2,3     | 2,3                 | 97,7                   |
|         | ungern       | 2          | 2,3     | 2,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Akt Modelle bauen

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 42         | 48,3    | 48,8                | 48,8                   |
|         | gern         | 35         | 40,2    | 40,7                | 89,5                   |
|         | weniger gern | 7          | 8,0     | 8,1                 | 97,7                   |
|         | ungern       | 2          | 2,3     | 2,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Akt selbstständig erforschen

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 33         | 37,9    | 38,4                | 38,4                   |
|         | gern         | 34         | 39,1    | 39,5                | 77,9                   |
|         | weniger gern | 12         | 13,8    | 14,0                | 91,9                   |
|         | ungern       | 7          | 8,0     | 8,1                 | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Häufigkeiten: Freizeitfragen

##### Statistiken

|            |         | Freizeit<br>Fernseher | Freizeit<br>Internet | Freizeit<br>Gespräch mit<br>Freunden | Freizeit<br>Chemieexperi-<br>mentierkästen | Freizeit<br>Alltagsbeobac-<br>htungen |
|------------|---------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| N          | Gültig  | 86                    | 86                   | 86                                   | 86   | 84                                    |
|            | Fehlend | 1                     | 1                    | 1                                    | 1  | 3                                     |
| Modus      |         | 3                     | 3                    | 2                                    | 3  | 2                                     |
| Spannweite |         | 3                     | 3                    | 3                                    | 3  | 3                                     |
| Minimum    |         | 1                     | 1                    | 1                                    | 1  | 1                                     |
| Maximum    |         | 4                     | 4                    | 4                                    | 4  | 4                                     |

## Häufigkeitstabelle

**Freizeit Fernseher**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 2          | 2,3     | 2,3                 | 2,3                    |
|         | trifft eher zu       | 22         | 25,3    | 25,6                | 27,9                   |
|         | trifft eher nicht zu | 43         | 49,4    | 50,0                | 77,9                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 19         | 21,8    | 22,1                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Freizeit Internet**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 11         | 12,6    | 12,8                | 12,8                   |
|         | trifft eher zu       | 24         | 27,6    | 27,9                | 40,7                   |
|         | trifft eher nicht zu | 34         | 39,1    | 39,5                | 80,2                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 17         | 19,5    | 19,8                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Freizeit Gespräch mit Freunden**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 8          | 9,2     | 9,3                 | 9,3                    |
|         | trifft eher zu       | 33         | 37,9    | 38,4                | 47,7                   |
|         | trifft eher nicht zu | 32         | 36,8    | 37,2                | 84,9                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 13         | 14,9    | 15,1                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Freizeit Chemieexperimentierkästen**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 4          | 4,6     | 4,7                 | 4,7                    |
|         | trifft eher zu       | 8          | 9,2     | 9,3                 | 14,0                   |
|         | trifft eher nicht zu | 39         | 44,8    | 45,3                | 59,3                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 35         | 40,2    | 40,7                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |



### Freizeit Alltagsbeobachtungen

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|------------------|---------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 13         | 14,9    | 15,5             | 15,5                |
|         | trifft eher zu       | 36         | 41,4    | 42,9             | 58,3                |
|         | trifft eher nicht zu | 27         | 31,0    | 32,1             | 90,5                |
|         | trifft gar nicht zu  | 8          | 9,2     | 9,5              | 100,0               |
|         | Gesamt               | 84         | 96,6    | 100,0            |                     |
| Fehlend | System               | 3          | 3,4     |                  |                     |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                  |                     |

### Häufigkeiten: Bedeutung der Chemie

#### Statistiken

|            |         | Relevanz Vorgänge im Alltag | Relevanz Industrie problemlösung | Relevanz persönlich wichtig | Relevanz schulleistung egal | Relevanz Berufswahl |
|------------|---------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| N          | Gültig  | 85                          | 86                               | 86                          | 86                          | 85                  |
|            | Fehlend | 2                           | 1                                | 1                           | 1                           | 2                   |
| Modus      |         | 1                           | 2                                | 2                           | 4                           | 3                   |
| Spannweite |         | 2                           | 2                                | 3                           | 3                           | 3                   |
| Minimum    |         | 1                           | 1                                | 1                           | 1                           | 1                   |
| Maximum    |         | 3                           | 3                                | 4                           | 4                           | 4                   |

### Häufigkeitstabelle

#### Relevanz Vorgänge im Alltag

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|------------------|---------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 53         | 60,9    | 62,4             | 62,4                |
|         | trifft eher zu       | 28         | 32,2    | 32,9             | 95,3                |
|         | trifft eher nicht zu | 4          | 4,6     | 4,7              | 100,0               |
|         | Gesamt               | 85         | 97,7    | 100,0            |                     |
| Fehlend | System               | 2          | 2,3     |                  |                     |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                  |                     |

#### Relevanz Industrie problemlösung

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|------------------|---------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 41         | 47,1    | 47,7             | 47,7                |
|         | trifft eher zu       | 43         | 49,4    | 50,0             | 97,7                |
|         | trifft eher nicht zu | 2          | 2,3     | 2,3              | 100,0               |
|         | Gesamt               | 86         | 98,9    | 100,0            |                     |
| Fehlend | System               | 1          | 1,1     |                  |                     |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                  |                     |

**Relevanz persönlich wichtig**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 27         | 31,0    | 31,4                | 31,4                   |
|         | trifft eher zu       | 45         | 51,7    | 52,3                | 83,7                   |
|         | trifft eher nicht zu | 12         | 13,8    | 14,0                | 97,7                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 2          | 2,3     | 2,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Relevanz schulleistung egal**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 7          | 8,0     | 8,1                 | 8,1                    |
|         | trifft eher zu       | 13         | 14,9    | 15,1                | 23,3                   |
|         | trifft eher nicht zu | 23         | 26,4    | 26,7                | 50,0                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 43         | 49,4    | 50,0                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Relevanz Berufswahl**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 20         | 23,0    | 23,5                | 23,5                   |
|         | trifft eher zu       | 14         | 16,1    | 16,5                | 40,0                   |
|         | trifft eher nicht zu | 34         | 39,1    | 40,0                | 80,0                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 17         | 19,5    | 20,0                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 85         | 97,7    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 2          | 2,3     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Häufigkeiten: Selbsteinschätzung des Leistungspotenzials**

#### Statistiken

|            |         | Gefühl trotz Mühe schwer | Gefühl leichtes Verständnis der Theorien | Gefühl ungeschickt beim Experimentieren | Gefühl schwierige Aufgaben üben besonderen Reiz aus | Gefühl Keine Probleme mit neuem Stoff (Erwartung) |
|------------|---------|--------------------------|--|---|---|---|
| N          | Gültig  | 86                       | 86                                       | 86                                      | 86  | 84  |
|            | Fehlend | 1                        | 1  | 1                                       | 1   | 3   |
| Modus      |         | 3                        | 2  | 3                                       | 3   | 2   |
| Spannweite |         | 3                        | 3  | 3                                       | 3   | 3   |
| Minimum    |         | 1                        | 1  | 1                                       | 1   | 1   |
| Maximum    |         | 4                        | 4  | 4                                       | 4   | 4   |

#### Statistiken

|            |         | Gefühl Experimente helfen beim Verständnis |
|------------|---------|--|
| N          | Gültig  | 86   |
|            | Fehlend | 1  |
| Modus      |         | 2  |
| Spannweite |         | 3  |
| Minimum    |         | 1  |
| Maximum    |         | 4  |

### Häufigkeitstabelle

#### Gefühl trotz Mühe schwer

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|------------------|---------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 13         | 14,9    | 15,1             | 15,1                |
|         | trifft eher zu       | 14         | 16,1    | 16,3             | 31,4                |
|         | trifft eher nicht zu | 44         | 50,6    | 51,2             | 82,6                |
|         | trifft gar nicht zu  | 15         | 17,2    | 17,4             | 100,0               |
|         | Gesamt               | 86         | 98,9    | 100,0            |                     |
| Fehlend | System               | 1          | 1,1     |                  |                     |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                  |                     |

**Gefühl leichtes Verständnis der Theorien**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 15         | 17,2    | 17,4                | 17,4                   |
|         | trifft eher zu       | 44         | 50,6    | 51,2                | 68,6                   |
|         | trifft eher nicht zu | 24         | 27,6    | 27,9                | 96,5                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 3          | 3,4     | 3,5                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Gefühl ungeschickt beim Experimentieren**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 7          | 8,0     | 8,1                 | 8,1                    |
|         | trifft eher zu       | 26         | 29,9    | 30,2                | 38,4                   |
|         | trifft eher nicht zu | 35         | 40,2    | 40,7                | 79,1                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 18         | 20,7    | 20,9                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Gefühl schwierige Aufgaben üben besonderen Reiz aus**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 19         | 21,8    | 22,1                | 22,1                   |
|         | trifft eher zu       | 20         | 23,0    | 23,3                | 45,3                   |
|         | trifft eher nicht zu | 29         | 33,3    | 33,7                | 79,1                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 18         | 20,7    | 20,9                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Gefühl Keine Probleme mit neuem Stoff (Erwartung)**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 7          | 8,0     | 8,3                 | 8,3                    |
|         | trifft eher zu       | 39         | 44,8    | 46,4                | 54,8                   |
|         | trifft eher nicht zu | 33         | 37,9    | 39,3                | 94,0                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 5          | 5,7     | 6,0                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 84         | 96,6    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 3          | 3,4     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Gefühl Experimente helfen beim Verständnis

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 12         | 13,8    | 14,0                | 14,0                   |
|         | trifft eher zu       | 50         | 57,5    | 58,1                | 72,1                   |
|         | trifft eher nicht zu | 19         | 21,8    | 22,1                | 94,2                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 5          | 5,7     | 5,8                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 86         | 98,9    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 1          | 1,1     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Häufigkeiten: Anzahl Experimente im regulären Schulunterricht

##### Statistiken

Häufigkeit der Experimente im L

|            |         |    |
|------------|---------|----|
| N          | Gültig  | 85 |
|            | Fehlend | 2  |
| Modus      |         | 2  |
| Spannweite |         | 2  |
| Minimum    |         | 1  |
| Maximum    |         | 3  |

#### Häufigkeit der Experimente im Unterricht

|         |             | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|-------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr oft    | 10         | 11,5    | 11,8                | 11,8                   |
|         | oft         | 57         | 65,5    | 67,1                | 78,8                   |
|         | eher selten | 18         | 20,7    | 21,2                | 100,0                  |
|         | Gesamt      | 85         | 97,7    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System      | 2          | 2,3     |                     |                        |
| Gesamt  |             | 87         | 100,0   |                     |                        |

## **D. Statistische Auswertung aller Fragen zum Posttest**

### Häufigkeiten: Interesse an Schulthemen nach Kursdurchführung

Statistiken

|   |            | Int<br>Naturmoleküla<br>ufbau danach | Int<br>Kunststoffmol<br>eküle danach | Int<br>chemisches<br>GG danach | Int chemische<br>Rkt -><br>elektrische<br>Energie<br>danach | Int<br>Reaktionsener<br>gien<br>berechnen<br>danach |
|---|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---|---|
| N | Gültig     | 80                                   | 80                                   | 80                             | 80  | 80  |
|   | Fehlend    | 7                                    | 7                                    | 7                              | 7   | 7   |
|   | Modus      | 2                                    | 2                                    | 3                              | 2   | 3   |
|   | Spannweite | 3                                    | 3                                    | 3                              | 3   | 3   |
|   | Minimum    | 1                                    | 1                                    | 1                              | 1   | 1   |
|   | Maximum    | 4                                    | 4                                    | 4                              | 4   | 4   |

Statistiken

|   |            | Int Aromaten<br>danach |
|---|------------|------------------------|
| N | Gültig     | 80                     |
|   | Fehlend    | 7                      |
|   | Modus      | 2                      |
|   | Spannweite | 3                      |
|   | Minimum    | 1                      |
|   | Maximum    | 4                      |

### Häufigkeitstabelle

Int Naturmolekülaufbau danach

|         |            | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr       | 27         | 31,0    | 33,8                | 33,8                   |
|         | ein wenig  | 42         | 48,3    | 52,5                | 86,3                   |
|         | eher nicht | 10         | 11,5    | 12,5                | 98,8                   |
|         | gar nicht  | 1          | 1,1     | 1,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt     | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System     | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |            | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Int Kunststoffmoleküle danach

|         |            | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr       | 15         | 17,2    | 18,8                | 18,8                   |
|         | ein wenig  | 35         | 40,2    | 43,8                | 62,5                   |
|         | eher nicht | 26         | 29,9    | 32,5                | 95,0                   |
|         | gar nicht  | 4          | 4,6     | 5,0                 | 100,0                  |
|         | Gesamt     | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System     | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |            | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Int chemisches GG danach

|         |            | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr       | 18         | 20,7    | 22,5                | 22,5                   |
|         | ein wenig  | 26         | 29,9    | 32,5                | 55,0                   |
|         | eher nicht | 31         | 35,6    | 38,8                | 93,8                   |
|         | gar nicht  | 5          | 5,7     | 6,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt     | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System     | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |            | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Int chemische Rkt -> elektrische Energie danach

|         |            | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr       | 21         | 24,1    | 26,3                | 26,3                   |
|         | ein wenig  | 37         | 42,5    | 46,3                | 72,5                   |
|         | eher nicht | 19         | 21,8    | 23,8                | 96,3                   |
|         | gar nicht  | 3          | 3,4     | 3,8                 | 100,0                  |
|         | Gesamt     | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System     | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |            | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Int Reaktionsenergien berechnen danach

|         |            | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr       | 10         | 11,5    | 12,5                | 12,5                   |
|         | ein wenig  | 24         | 27,6    | 30,0                | 42,5                   |
|         | eher nicht | 30         | 34,5    | 37,5                | 80,0                   |
|         | gar nicht  | 16         | 18,4    | 20,0                | 100,0                  |
|         | Gesamt     | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System     | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |            | 87         | 100,0   |                     |                        |



#### Int Aromaten danach

|         |            | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr       | 33         | 37,9    | 41,3                | 41,3                   |
|         | ein wenig  | 36         | 41,4    | 45,0                | 86,3                   |
|         | eher nicht | 10         | 11,5    | 12,5                | 98,8                   |
|         | gar nicht  | 1          | 1,1     | 1,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt     | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System     | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |            | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Häufigkeiten: Präferierte Unterrichtsmethode nach Kursdurchführung

##### Statistiken

|            |         | Akt<br>Lehrerexperiment<br>danach | Akt Mitschüler<br>Experiment<br>danach | Akt<br>Lehrervortrag<br>danach | Akt<br>Schülervortrag<br>danach | Akt<br>Versuchsausgang<br>und<br>chemische<br>Größe<br>ausrechnen<br>danach |
|------------|---------|-----------------------------------|--|--------------------------------|---------------------------------|---|
| N          | Gültig  | 80                                | 80                                     | 80                             | 80                              | 80  |
|            | Fehlend | 7                                 | 7                                      | 7                              | 7                               | 7   |
| Modus      |         | 2                                 | 2                                      | 2                              | 3                               | 3   |
| Spannweite |         | 3                                 | 3                                      | 3                              | 3                               | 3   |
| Minimum    |         | 1                                 | 1                                      | 1                              | 1                               | 1   |
| Maximum    |         | 4                                 | 4                                      | 4                              | 4                               | 4   |

##### Statistiken

|            |         | Akt<br>Experiment<br>danach | Akt Modelle<br>bauen danach | Akt<br>selbstständig<br>erforschen<br>danach |
|------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|--|
| N          | Gültig  | 80                          | 80                          | 80   |
|            | Fehlend | 7                           | 7                           | 7  |
| Modus      |         | 1                           | 1                           | 1  |
| Spannweite |         | 3                           | 3                           | 3  |
| Minimum    |         | 1                           | 1                           | 1  |
| Maximum    |         | 4                           | 4                           | 4  |

#### Häufigkeitstabelle

**Akt Lehrerexperiment danach**

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 27         | 31,0    | 33,8                | 33,8                   |
|         | gern         | 41         | 47,1    | 51,3                | 85,0                   |
|         | weniger gern | 11         | 12,6    | 13,8                | 98,8                   |
|         | ungern       | 1          | 1,1     | 1,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Akt Mitschüler Experiment danach**

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 22         | 25,3    | 27,5                | 27,5                   |
|         | gern         | 41         | 47,1    | 51,3                | 78,8                   |
|         | weniger gern | 16         | 18,4    | 20,0                | 98,8                   |
|         | ungern       | 1          | 1,1     | 1,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Akt Lehrervortrag danach**

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 11         | 12,6    | 13,8                | 13,8                   |
|         | gern         | 35         | 40,2    | 43,8                | 57,5                   |
|         | weniger gern | 23         | 26,4    | 28,8                | 86,3                   |
|         | ungern       | 11         | 12,6    | 13,8                | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Akt Schülervortrag danach**

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 9          | 10,3    | 11,3                | 11,3                   |
|         | gern         | 31         | 35,6    | 38,8                | 50,0                   |
|         | weniger gern | 35         | 40,2    | 43,8                | 93,8                   |
|         | ungern       | 5          | 5,7     | 6,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Akt Versuchsausgang und chemische Größe ausrechnen danach**

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 10         | 11,5    | 12,5                | 12,5                   |
|         | gern         | 20         | 23,0    | 25,0                | 37,5                   |
|         | weniger gern | 35         | 40,2    | 43,8                | 81,3                   |
|         | ungern       | 15         | 17,2    | 18,8                | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Akt Experiment danach**

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 66         | 75,9    | 82,5                | 82,5                   |
|         | gern         | 11         | 12,6    | 13,8                | 96,3                   |
|         | weniger gern | 2          | 2,3     | 2,5                 | 98,8                   |
|         | ungern       | 1          | 1,1     | 1,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Akt Modelle bauen danach**

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 38         | 43,7    | 47,5                | 47,5                   |
|         | gern         | 32         | 36,8    | 40,0                | 87,5                   |
|         | weniger gern | 9          | 10,3    | 11,3                | 98,8                   |
|         | ungern       | 1          | 1,1     | 1,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Akt selbstständig erforschen danach**

|         |              | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | sehr gern    | 35         | 40,2    | 43,8                | 43,8                   |
|         | gern         | 30         | 34,5    | 37,5                | 81,3                   |
|         | weniger gern | 11         | 12,6    | 13,8                | 95,0                   |
|         | ungern       | 4          | 4,6     | 5,0                 | 100,0                  |
|         | Gesamt       | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System       | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |              | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Häufigkeiten: Freizeitinteresse nach Kursdurchführung**

### Statistiken

|            |         | Freizeit<br>Fernseher<br>danach | Freizeit<br>Internet<br>danach | Freizeit<br>Gespräch mit<br>Freunden<br>danach | Freizeit<br>Chemieexperi-<br>mentierkästen<br>danach | Freizeit<br>Alltagsbeobac-<br>htungen<br>danach |
|------------|---------|---------------------------------|--------------------------------|--|--|---|
| N          | Gültig  | 80                              | 80                             | 80   | 80   | 80  |
|            | Fehlend | 7                               | 7                              | 7  | 7  | 7   |
| Modus      |         | 3                               | 2                              | 2  | 4  | 2   |
| Spannweite |         | 3                               | 3                              | 3  | 3  | 3   |
| Minimum    |         | 1                               | 1                              | 1  | 1  | 1   |
| Maximum    |         | 4                               | 4                              | 4  | 4  | 4   |

### Häufigkeitstabelle

#### Freizeit Fernseher danach

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 2          | 2,3     | 2,5                 | 2,5                    |
|         | trifft eher zu       | 26         | 29,9    | 32,5                | 35,0                   |
|         | trifft eher nicht zu | 37         | 42,5    | 46,3                | 81,3                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 15         | 17,2    | 18,8                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Freizeit Internet danach

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 8          | 9,2     | 10,0                | 10,0                   |
|         | trifft eher zu       | 28         | 32,2    | 35,0                | 45,0                   |
|         | trifft eher nicht zu | 25         | 28,7    | 31,3                | 76,3                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 19         | 21,8    | 23,8                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Freizeit Gespräch mit Freunden danach

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 6          | 6,9     | 7,5                 | 7,5                    |
|         | trifft eher zu       | 32         | 36,8    | 40,0                | 47,5                   |
|         | trifft eher nicht zu | 27         | 31,0    | 33,8                | 81,3                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 15         | 17,2    | 18,8                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Freizeit Chemieexperimentierkästen danach

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 5          | 5,7     | 6,3                 | 6,3                    |
|         | trifft eher zu       | 13         | 14,9    | 16,3                | 22,5                   |
|         | trifft eher nicht zu | 30         | 34,5    | 37,5                | 60,0                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 32         | 36,8    | 40,0                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Freizeit Alltagsbeobachtungen danach

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 18         | 20,7    | 22,5                | 22,5                   |
|         | trifft eher zu       | 34         | 39,1    | 42,5                | 65,0                   |
|         | trifft eher nicht zu | 22         | 25,3    | 27,5                | 92,5                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 6          | 6,9     | 7,5                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Häufigkeiten: Bedeutung der Chemie nach Kursdurchführung

##### Statistiken

|            |         | Relevanz<br>Vorgänge im<br>Alltag danach | Relevanz<br>Industrie<br>problemlösun<br>g danach | Relevanz<br>persönlich<br>wichtig<br>danach | Relevanz<br>schulleistung<br>egal danach | Relevanz<br>Berufswahl<br>danach |
|------------|---------|--|---|---|--|----------------------------------|
| N          | Gültig  | 80                                       | 80  | 80  | 80                                       | 80                               |
|            | Fehlend | 7  | 7   | 7   | 7  | 7                                |
| Modus      |         | 1  | 1   | 2   | 4  | 2 <sup>a</sup>                   |
| Spannweite |         | 2  | 2   | 3   | 3  | 3                                |
| Minimum    |         | 1  | 1   | 1   | 1  | 1                                |
| Maximum    |         | 3  | 3   | 4   | 4  | 4                                |

a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt.

#### Häufigkeitstabelle

#### Relevanz Vorgänge im Alltag danach

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 53         | 60,9    | 66,3                | 66,3                   |
|         | trifft eher zu       | 25         | 28,7    | 31,3                | 97,5                   |
|         | trifft eher nicht zu | 2          | 2,3     | 2,5                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Relevanz Industrie problemlösung danach

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 45         | 51,7    | 56,3                | 56,3                   |
|         | trifft eher zu       | 32         | 36,8    | 40,0                | 96,3                   |
|         | trifft eher nicht zu | 3          | 3,4     | 3,8                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Relevanz persönlich wichtig danach

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 20         | 23,0    | 25,0                | 25,0                   |
|         | trifft eher zu       | 38         | 43,7    | 47,5                | 72,5                   |
|         | trifft eher nicht zu | 19         | 21,8    | 23,8                | 96,3                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 3          | 3,4     | 3,8                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Relevanz schulleistung egal danach

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 5          | 5,7     | 6,3                 | 6,3                    |
|         | trifft eher zu       | 14         | 16,1    | 17,5                | 23,8                   |
|         | trifft eher nicht zu | 24         | 27,6    | 30,0                | 53,8                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 37         | 42,5    | 46,3                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Relevanz Berufswahl danach

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|------------------|---------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 13         | 14,9    | 16,3             | 16,3                |
|         | trifft eher zu       | 24         | 27,6    | 30,0             | 46,3                |
|         | trifft eher nicht zu | 24         | 27,6    | 30,0             | 76,3                |
|         | trifft gar nicht zu  | 19         | 21,8    | 23,8             | 100,0               |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0            |                     |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                  |                     |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                  |                     |

#### Häufigkeiten: Selbsteinschätzung des Leistungspotenzials nach Kursdurchführung

##### Statistiken

|            |         | Gefühl trotz Mühe schwer danach | Gefühl leichtes Verständnis der Theorien danach | Gefühl ungeschickt beim Experimentieren danach | Gefühl schwierige Aufgaben üben besonderen Reiz aus danach | Gefühl Keine Probleme mit neuem Stoff (Erwartung) danach |
|------------|---------|---------------------------------|---|--|--|--|
| N          | Gültig  | 80                              | 80  | 80   | 80   | 80   |
|            | Fehlend | 7                               | 7   | 7  | 7  | 7  |
| Modus      |         | 3                               | 2   | 3  | 3  | 2  |
| Spannweite |         | 3                               | 3   | 3  | 3  | 3  |
| Minimum    |         | 1                               | 1   | 1  | 1  | 1  |
| Maximum    |         | 4                               | 4   | 4  | 4  | 4  |

##### Statistiken

|            |         | Gefühl Experimente helfen beim Verständnis danach |
|------------|---------|---|
| N          | Gültig  | 80  |
|            | Fehlend | 7   |
| Modus      |         | 2   |
| Spannweite |         | 3   |
| Minimum    |         | 1   |
| Maximum    |         | 4   |

#### Häufigkeitstabelle

**Gefühl trotz Mühe schwer danach**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|------------------|---------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 8          | 9,2     | 10,0             | 10,0                |
|         | trifft eher zu       | 24         | 27,6    | 30,0             | 40,0                |
|         | trifft eher nicht zu | 33         | 37,9    | 41,3             | 81,3                |
|         | trifft gar nicht zu  | 15         | 17,2    | 18,8             | 100,0               |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0            |                     |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                  |                     |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                  |                     |

**Gefühl leichtes Verständnis der Theorien danach**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|------------------|---------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 12         | 13,8    | 15,0             | 15,0                |
|         | trifft eher zu       | 40         | 46,0    | 50,0             | 65,0                |
|         | trifft eher nicht zu | 21         | 24,1    | 26,3             | 91,3                |
|         | trifft gar nicht zu  | 7          | 8,0     | 8,8              | 100,0               |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0            |                     |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                  |                     |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                  |                     |

**Gefühl ungeschickt beim Experimentieren danach**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|------------------|---------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 9          | 10,3    | 11,3             | 11,3                |
|         | trifft eher zu       | 24         | 27,6    | 30,0             | 41,3                |
|         | trifft eher nicht zu | 33         | 37,9    | 41,3             | 82,5                |
|         | trifft gar nicht zu  | 14         | 16,1    | 17,5             | 100,0               |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0            |                     |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                  |                     |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                  |                     |

**Gefühl schwierige Aufgaben üben besonderen Reiz aus danach**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|------------------|---------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 15         | 17,2    | 18,8             | 18,8                |
|         | trifft eher zu       | 20         | 23,0    | 25,0             | 43,8                |
|         | trifft eher nicht zu | 34         | 39,1    | 42,5             | 86,3                |
|         | trifft gar nicht zu  | 11         | 12,6    | 13,8             | 100,0               |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0            |                     |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                  |                     |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                  |                     |



**Gefühl Keine Probleme mit neuem Stoff (Erwartung) danach**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 13         | 14,9    | 16,3                | 16,3                   |
|         | trifft eher zu       | 35         | 40,2    | 43,8                | 60,0                   |
|         | trifft eher nicht zu | 27         | 31,0    | 33,8                | 93,8                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 5          | 5,7     | 6,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Gefühl Experimente helfen beim Verständnis danach**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 15         | 17,2    | 18,8                | 18,8                   |
|         | trifft eher zu       | 47         | 54,0    | 58,8                | 77,5                   |
|         | trifft eher nicht zu | 16         | 18,4    | 20,0                | 97,5                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 2          | 2,3     | 2,5                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Häufigkeiten: Fragen zum vergangenen Kurs**

**Statistiken**

|            |         | Kurs<br>Selbständige-<br>keit überfordert | Kurs Inhalte<br>waren logisch<br>aufgebaut | Kurs zu<br>theoretisch | Kurs Theorie<br>zu kompliziert | Kurs keine<br>Verständnispr<br>obleme |
|------------|---------|---|--|------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| N          | Gültig  | 80  | 80   | 80                     | 80                             | 80                                    |
|            | Fehlend | 7   | 7  | 7                      | 7                              | 7                                     |
| Modus      |         | 3   | 1  | 4                      | 4                              | 2                                     |
| Spannweite |         | 3   | 2  | 2                      | 2                              | 3                                     |
| Minimum    |         | 1   | 1  | 2                      | 2                              | 1                                     |
| Maximum    |         | 4   | 3  | 4                      | 4                              | 4                                     |

#### Statistiken

|            |         | Kurs wusste warum welches Exp durchgeführt wird | Kurs lieber noch selbstständiger | Kurs ganz anders vorgestellt | Kurs Lehrkräfte kompetent | Kurs Lehrkräfte motiviert |
|------------|---------|---|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| N          | Gültig  | 80  | 80                               | 80                           | 80                        | 80                        |
|            | Fehlend | 7   | 7                                | 7                            | 7                         | 7                         |
| Modus      |         | 2   | 3                                | 3                            | 1                         | 1                         |
| Spannweite |         | 3   | 3                                | 3                            | 2                         | 2                         |
| Minimum    |         | 1   | 1                                | 1                            | 1                         | 1                         |
| Maximum    |         | 4   | 4                                | 4                            | 3                         | 3                         |

#### Statistiken

|            |         | Kurs experimentell es Erforschen hat Spaß gemacht | Kurs anderen Schülern empfehlen |
|------------|---------|---|---------------------------------|
| N          | Gültig  | 80  | 80                              |
|            | Fehlend | 7   | 7                               |
| Modus      |         | 1   | 1                               |
| Spannweite |         | 2   | 2                               |
| Minimum    |         | 1   | 1                               |
| Maximum    |         | 3   | 3                               |

### Häufigkeitstabelle

#### Kurs Selbständigkeit überfordert

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|------------------|---------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 1          | 1,1     | 1,3              | 1,3                 |
|         | trifft eher zu       | 14         | 16,1    | 17,5             | 18,8                |
|         | trifft eher nicht zu | 38         | 43,7    | 47,5             | 66,3                |
|         | trifft gar nicht zu  | 27         | 31,0    | 33,8             | 100,0               |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0            |                     |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                  |                     |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                  |                     |

#### Kurs Inhalte waren logisch aufgebaut

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige Prozente | Kumulierte Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|------------------|---------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 40         | 46,0    | 50,0             | 50,0                |
|         | trifft eher zu       | 36         | 41,4    | 45,0             | 95,0                |
|         | trifft eher nicht zu | 4          | 4,6     | 5,0              | 100,0               |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0            |                     |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                  |                     |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                  |                     |

#### Kurs zu theoretisch

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft eher zu       | 4          | 4,6     | 5,0                 | 5,0                    |
|         | trifft eher nicht zu | 25         | 28,7    | 31,3                | 36,3                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 51         | 58,6    | 63,8                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Kurs Theorie zu kompliziert

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft eher zu       | 2          | 2,3     | 2,5                 | 2,5                    |
|         | trifft eher nicht zu | 32         | 36,8    | 40,0                | 42,5                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 46         | 52,9    | 57,5                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Kurs keine Verständnisprobleme

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 31         | 35,6    | 38,8                | 38,8                   |
|         | trifft eher zu       | 34         | 39,1    | 42,5                | 81,3                   |
|         | trifft eher nicht zu | 14         | 16,1    | 17,5                | 98,8                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 1          | 1,1     | 1,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

#### Kurs wusste warum welches Exp durchgeführt wird

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 33         | 37,9    | 41,3                | 41,3                   |
|         | trifft eher zu       | 34         | 39,1    | 42,5                | 83,8                   |
|         | trifft eher nicht zu | 12         | 13,8    | 15,0                | 98,8                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 1          | 1,1     | 1,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Kurs lieber noch selbstständiger**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 3          | 3,4     | 3,8                 | 3,8                    |
|         | trifft eher zu       | 9          | 10,3    | 11,3                | 15,0                   |
|         | trifft eher nicht zu | 48         | 55,2    | 60,0                | 75,0                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 20         | 23,0    | 25,0                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Kurs ganz anders vorgestellt**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 5          | 5,7     | 6,3                 | 6,3                    |
|         | trifft eher zu       | 11         | 12,6    | 13,8                | 20,0                   |
|         | trifft eher nicht zu | 41         | 47,1    | 51,3                | 71,3                   |
|         | trifft gar nicht zu  | 23         | 26,4    | 28,8                | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Kurs Lehrkräfte kompetent**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 57         | 65,5    | 71,3                | 71,3                   |
|         | trifft eher zu       | 21         | 24,1    | 26,3                | 97,5                   |
|         | trifft eher nicht zu | 2          | 2,3     | 2,5                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Kurs Lehrkräfte motiviert**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 69         | 79,3    | 86,3                | 86,3                   |
|         | trifft eher zu       | 10         | 11,5    | 12,5                | 98,8                   |
|         | trifft eher nicht zu | 1          | 1,1     | 1,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Kurs experimentelles Erforschen hat Spaß gemacht**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 54         | 62,1    | 67,5                | 67,5                   |
|         | trifft eher zu       | 23         | 26,4    | 28,8                | 96,3                   |
|         | trifft eher nicht zu | 3          | 3,4     | 3,8                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Kurs anderen Schülern empfehlen**

|         |                      | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|----------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | trifft völlig zu     | 59         | 67,8    | 73,8                | 73,8                   |
|         | trifft eher zu       | 19         | 21,8    | 23,8                | 97,5                   |
|         | trifft eher nicht zu | 2          | 2,3     | 2,5                 | 100,0                  |
|         | Gesamt               | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System               | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                      | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Häufigkeiten: Konzeptzuordnung**

**Statistiken**

Gruppezuordnung

|            |         |    |
|------------|---------|----|
| N          | Gültig  | 80 |
|            | Fehlend | 7  |
| Modus      |         | 1  |
| Spannweite |         | 3  |
| Minimum    |         | 1  |
| Maximum    |         | 4  |

**Gruppezuordnung**

|         |                             | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|-----------------------------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | Badeperlen Stressfrei       | 22         | 25,3    | 27,5                | 27,5                   |
|         | Brillantschwarzgummibärchen | 19         | 21,8    | 23,8                | 51,3                   |
|         | Magische Stifte             | 21         | 24,1    | 26,3                | 77,5                   |
|         | Textilfarbstoffe            | 18         | 20,7    | 22,5                | 100,0                  |
|         | Gesamt                      | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System                      | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |                             | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Häufigkeiten: Antworten auf Testfragen**

### Statistiken

|            |         | Fragen blauer<br>Stoff<br>Absorption | Fragen<br>Farbstoffmole<br>küle viele<br>Dobis | Fragen TPM-<br>Farbstoff hat<br>eine N=N-<br>Komponente | Fragen<br>Azofarbstoffe<br>können in<br>Amine<br>gespalten<br>werden | Fragen<br>Fluoreszenz<br>pH-abhängig |
|------------|---------|--------------------------------------|--|---|--|--------------------------------------|
| N          | Gültig  | 79                                   | 80   | 78  | 78   | 78                                   |
|            | Fehlend | 8                                    | 7  | 9   | 9  | 9                                    |
| Modus      |         | 2                                    | 1  | 2   | 1  | 1                                    |
| Spannweite |         | 1                                    | 1  | 1   | 1  | 1                                    |
| Minimum    |         | 1                                    | 1  | 1   | 1  | 1                                    |
| Maximum    |         | 2                                    | 2  | 2   | 2  | 2                                    |

### Statistiken

|            |         | Fragen<br>Besonderheit<br>des BS liegt<br>an zwei<br>Azobrücken | Fragen<br>MagicPen<br>Effekt liegt nur<br>am hohen pH-<br>Wert |
|------------|---------|---|--|
| N          | Gültig  | 78  | 77   |
|            | Fehlend | 9   | 10   |
| Modus      |         | 1   | 2  |
| Spannweite |         | 1   | 1  |
| Minimum    |         | 1   | 1  |
| Maximum    |         | 2   | 2  |

## Häufigkeitstabelle

### Fragen blauer Stoff Absorption

|         |        | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | wahr   | 25         | 28,7    | 31,6                | 31,6                   |
|         | falsch | 54         | 62,1    | 68,4                | 100,0                  |
|         | Gesamt | 79         | 90,8    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System | 8          | 9,2     |                     |                        |
| Gesamt  |        | 87         | 100,0   |                     |                        |

### Fragen Farbstoffmoleküle viele Dobis

|         |        | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | wahr   | 74         | 85,1    | 92,5                | 92,5                   |
|         | falsch | 6          | 6,9     | 7,5                 | 100,0                  |
|         | Gesamt | 80         | 92,0    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System | 7          | 8,0     |                     |                        |
| Gesamt  |        | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Fragen TPM-Farbstoff hat eine N=N-Komponente**

|         |        | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | wahr   | 34         | 39,1    | 43,6                | 43,6                   |
|         | falsch | 44         | 50,6    | 56,4                | 100,0                  |
|         | Gesamt | 78         | 89,7    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System | 9          | 10,3    |                     |                        |
| Gesamt  |        | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Fragen Azofarbstoffe können in Amine gespalten werden**

|         |        | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | wahr   | 69         | 79,3    | 88,5                | 88,5                   |
|         | falsch | 9          | 10,3    | 11,5                | 100,0                  |
|         | Gesamt | 78         | 89,7    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System | 9          | 10,3    |                     |                        |
| Gesamt  |        | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Fragen Fluoreszenz pH-abhängig**

|         |        | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | wahr   | 52         | 59,8    | 66,7                | 66,7                   |
|         | falsch | 26         | 29,9    | 33,3                | 100,0                  |
|         | Gesamt | 78         | 89,7    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System | 9          | 10,3    |                     |                        |
| Gesamt  |        | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Fragen Besonderheit des BS liegt an zwei Azobrücken**

|         |        | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | wahr   | 68         | 78,2    | 87,2                | 87,2                   |
|         | falsch | 10         | 11,5    | 12,8                | 100,0                  |
|         | Gesamt | 78         | 89,7    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System | 9          | 10,3    |                     |                        |
| Gesamt  |        | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Fragen MagicPen Effekt liegt nur am hohen pH-Wert**

|         |        | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | wahr   | 24         | 27,6    | 31,2                | 31,2                   |
|         | falsch | 53         | 60,9    | 68,8                | 100,0                  |
|         | Gesamt | 77         | 88,5    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System | 10         | 11,5    |                     |                        |
| Gesamt  |        | 87         | 100,0   |                     |                        |

**Häufigkeiten: Gesamtnote des Kurses**

### Statistiken

Gesamtnote des Kurses

|            |         |      |
|------------|---------|------|
| N          | Gültig  | 77   |
|            | Fehlend | 10   |
| Modus      |         | 1,00 |
| Spannweite |         | 2,00 |
| Minimum    |         | 1,00 |
| Maximum    |         | 3,00 |

### Gesamtnote des Kurses

|         |        | Häufigkeit | Prozent | Gültige<br>Prozente | Kumulierte<br>Prozente |
|---------|--------|------------|---------|---------------------|------------------------|
| Gültig  | 1,00   | 18         | 20,7    | 23,4                | 23,4                   |
|         | 1,25   | 13         | 14,9    | 16,9                | 40,3                   |
|         | 1,30   | 2          | 2,3     | 2,6                 | 42,9                   |
|         | 1,50   | 12         | 13,8    | 15,6                | 58,4                   |
|         | 1,75   | 12         | 13,8    | 15,6                | 74,0                   |
|         | 2,00   | 15         | 17,2    | 19,5                | 93,5                   |
|         | 2,25   | 3          | 3,4     | 3,9                 | 97,4                   |
|         | 2,50   | 1          | 1,1     | 1,3                 | 98,7                   |
|         | 3,00   | 1          | 1,1     | 1,3                 | 100,0                  |
|         | Gesamt | 77         | 88,5    | 100,0               |                        |
| Fehlend | System | 10         | 11,5    |                     |                        |
| Gesamt  |        | 87         | 100,0   |                     |                        |